

Giotto

Author(s): Cecilia Frosinini, Serena Romano, Alberto Felici, Francesca Brogi, Alberto Dimuccio, Federica Innocenti, Carlo Galliano Lalli, Giancarlo Lanterna, Laura Cartechini, Costanza Miliani, Francesca Rosi, Pietro Moioli, Claudio Seccaroni, Massimo Coli, Lorenzo Innocenti, Fabio Giannino, Paolo Papeschi, Marco Barucci, Alice Dal Fovo, Raffaella Fontana, Enrico Pampaloni, Marco Raffaelli and Jana Striova

Source: *OPD Restauro*, 2018, No. 30 (2018), pp. 40-77

Published by: Centro Di Della Edifimi SRL

Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26840916>

REFERENCES

Linked references are available on JSTOR for this article:

https://www.jstor.org/stable/10.2307/26840916?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

You may need to log in to JSTOR to access the linked references.

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact support@jstor.org.

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at <https://about.jstor.org/terms>



Centro Di Della Edifimi SRL is collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *OPD Restauro*

JSTOR

Giotto: il restauro e gli studi sul “Frammento Vaticano”, proveniente dall’antica basilica di San Pietro a Roma

Cecilia Frosinini, Serena Romano, Alberto Felici, Francesca Brogi, Alberto Dimuccio, Federica Innocenti, Carlo Galliano Lalli, Giancarlo Lanterna, Laura Cartechini, Costanza Miliani, Francesca Rosi, Pietro Moioli, Claudio Seccaroni, Massimo Coli, Lorenzo Innocenti, Fabio Giannino, Paolo Papeschi, Marco Barucci, Alice Dal Fovo, Raffaella Fontana, Enrico Pampaloni, Marco Raffaelli, Jana Striova

Introduzione

In occasione della grande mostra *Giotto. L'Italia*, svoltasi a Milano, presso Palazzo Reale, nell'ambito di Expo 2015, dal 2 settembre 2015 al 10 gennaio 2016, curata da Serena Romano e Pietro Petrarola, i due studiosi ebbero il merito di ottenere dalla proprietà il permesso di esporre il “Frammento Vaticano” di Giotto, sostanzialmente noto solo attraverso vecchie fotografie¹ e un articolo di Valentino Martinelli,² ma mai esposto al pubblico in precedenza.

Alla mostra è poi seguito il trasferimento dell'opera presso l'Opificio delle Pietre Dure per poter giungere al suo restauro, grazie a un finanziamento del Rotary Club Milano Sempione. L'opera presentava innumerevoli motivi di interesse, sia dal punto di vista storico-artistico che da quello specifico di storia del restauro. Ci trovavamo davanti, infatti, a uno dei pochi casi integri, in quanto non rimaneggiati successivamente, di quella tipologia di distacchi antichi, serviti alla conservazione di una immagine sacra o di un reperto storico di cui si voleva eccezionalmente preservare memoria. La storia, ricostruita o realistica, della vicenda è epigraficamente attestata sul retro dell'opera così come si presenta oggi: un frammento, cioè, non un vero e proprio stacco a massello, affogato in un massiccio letto di gesso che servì a restituirgli spessore, consistenza e stabilità. Quindi l'oggetto materiale e la sua narrazione storica sono giunti a noi strettamente legati, in una unione indissolubile che ci consegna l'opera d'arte e la sua stessa trasformazione in un *unicum* che non potrà mai essere smembrato nelle sue componenti.

La testimonianza storica e la trasformazione, elementi da considerare irreversibili, da conservare e trasmettere, però, si fermano qui. Infatti, la perdita del contesto che ha generato il ‘frammento’ in quanto tale, è dato irreversibile; così come l'inclusione della memoria storica di questa estrazione che si è andata

a stratificare sul frammento stesso è un dato, sia pure altro, che ha arricchito e in certo qual modo completato la nuova creatura. La reliquia viene infatti ad essere inserita in un nuovo contesto, in cui generazione e motivazione del suo nuovo essere coincidono: l'epigrafe della memoria storica ha in un certo senso modificato il ‘frammento’, facendolo diventare un nuovo oggetto. Gli ha consegnato anche un ‘*titulus*’, un nuovo nome identificativo, per cui da incerta sopravvivenza parziale – ‘frammento’ in quanto unità generata dalla decomposizione – diventa “Frammento”, vocabolo che acquista una valenza di nome, che lo individua.

È giusto quindi che “Frammento Vaticano” diventi un titolo che riassume origine, contesto e storia dello smarrimento e del ritrovamento di una nuova identità. Ma qui si ferma la nostra valutazione del valore storico e ontologico dell'opera per come era arrivata nei nostri laboratori. Tutto quello che essa aveva subito in seguito, dopo la scelta di conservarla e in un certo senso ‘crearla’ nella sua nuova unità, era un sovrappiù che si era stratificato sull'immagine stessa, non solo sulla materia, occludendola, nascondendo parti che non si capivano o che si volevano modificare. Le pesanti ridipinture apportate in diversi interventi, anche lontani nel tempo gli uni dagli altri – come le analisi scientifiche hanno poi avuto modo di appurare – avevano soltanto ottenuto di annientare le tracce del contesto, verosimilmente anche con presuntuosa o incolta volontà di conferire all'immagine una nuova agiografia, con il risultato di creare un quadretto da capezzale o un isolato *exemplum* che pareva estratto da una sorta di galleria gioviana di santi di famiglia.

La scelta di intervenire, quindi, con un restauro che mirasse a recuperare la verità materiale e storica dell'opera era un atto dovuto, di fronte a un risultato di stratificazioni che tradivano il principio stesso

per cui il frammento era stato preservato dalle distruzioni del suo contesto. La storia critica dell'opera dava conto del misconoscimento dell'opera e della sua autografia, cui certo il suo nascondimento, ma soprattutto il suo travisamento estetico e formale l'avevano consegnata. Molti erano infatti i dubbi attribuiti rispetto alla paternità giottesca e, cosa ancor più significativa, si era ormai accreditata una diversa considerazione circa l'autografia delle due figure di santi, tanto che, significativamente, in un contributo abbastanza recente era stata pubblicata la foto scontornata di uno solo di essi, segno estremo di *damnatio*.³ Il restauro si è posto quindi, come obiettivo primario, il recupero della materia originale, nascosta sotto ridipinture, ma anche sotto stratificazioni di stuccature che coprivano importanti porzioni dell'originale. Queste erano state probabilmente adoperate, inizialmente, per integrare piccole lacune, ma nel tempo la loro funzione e il loro scopo si erano allargati verso altri intenti: in prima istanza forse l'indirizzo fu quello di cambiare la connotazione dei due santi rappresentati, alla ricerca di una identificazione più prestigiosa nel pantheon dei santi romani, misconoscendo di conseguenza la sopravvivenza probabilmente casuale del frammento. Successivamente, forse mutando la fruizione stessa dell'opera in un interno familiare, o per compiacere istanze anche di tipo devozionale, le ridipinture erano state estese a porzioni più ampie dell'opera; la stesura del fondo nero può infatti essere letta come un tentativo di ottenere una astrazione dell'immagine, una concentrazione su due immaginetto 'ritagliate', quasi da santini da religiosità popolare. Di fatto si era raggiunto la negazione del contesto di provenienza e, se possibile, anche della matericità stessa di origine, in cui la percezione dell'opera come frammento di pittura murale era assolutamente lasciato a consapevolezza di specialisti, non certo a un apprezzamento immediato.

I risultati ottenuti dalle operazioni di restauro, meditate perché hanno necessariamente coinvolto frequenti rapporti sia con la proprietà dell'opera che, sul piano storico-artistico, con i due studiosi cui si deve la proposta e l'attuazione stessa dell'intervento, Serena Romano e Pietro Petrarola, parlano da soli. Il recupero è straordinario, sia visivamente che criticamente, come sempre accade quando il restauro ha la possibilità di esplicitarsi anche come ricerca e, mi

sia permessa l'espressione, forse abusata, come "atto critico".

Da parte mia desidero aggiungere soltanto, a chiusura, la nota di particolare soddisfazione registrata quando, nel corso delle operazioni, sono emersi alcuni elementi di costruzione delle due immagini così eclatanti nella loro autografia giottesca. In particolare la costruzione degli incarnati, con le forti ombreggiature che tanto spesso si riscontrano nella pittura su tavola grazie alle indagini in infrarosso, come appartenenti alla fase di *undermodelling* così tipica dell'artista (fig. 7). E, di seguito, l'individuazione di alcuni elementi di composizione, rintracciabili in altre opere, in particolare la presa della mano sul libro, del santo a sinistra, e la tunica che emerge dalla ricca bordura in ocra, decorata, in corrispondenza del collo, del santo a destra, entrambi riscontrabili nel *Santo Stefano* Horne.⁴ Il fatto stesso che si tratti di elementi singoli, qui utilizzati in due figure affiancate e nella tavola proveniente dal politico smembrato di Santa Croce siano invece uniti a comporre un'unica raffigurazione va indubbiamente nella direzione della costruzione delle immagini attraverso l'utilizzo di patroni o, meglio, data la complessità intellettuale che il metodo medievale acquisisce in Giotto, di "disegni di progetto", già individuata e studiata nell'artista, grazie al patrimonio di indagini diagnostiche che l'Opificio ha nel tempo acquisito sull'opera del grande artista.⁵

Organigramma del restauro

Direzione del restauro: Cecilia Frosinini

Restauro e direzione tecnica: Alberto Felici

Restauro della cornice: Alberto Dimuccio,
Francesca Brogi

Campagna fotografica ad alta risoluzione, in luce diffusa, luce radente, fluorescenza UV e UV riflesso: Roberto Bellucci e Ottaviano Caruso

Campagna diagnostica:

indagini radiografiche: Laboratorio di fisica dell'OPD: Andrea Cagnini, con la collaborazione di Ottavio Ciappi; indagini chimiche: Laboratorio scientifico dell'OPD (Carlo Galliano Lalli, Giancarlo Lanterna, con la collaborazione di Federica Innocenti); studio spettroscopico non invasivo mediante spettroscopia infrarossa in riflessione: CNR-ISTM, Perugia (Francesca Rosi,

Laura Cartechini, Costanza Miliani); fluorescenza X: ENEA di Roma, La Casaccia (Pietro Moioli, Claudio Seccaroni); analisi georadar: Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze (Massimo Coli, Lorenzo Innocenti); IDS GeoRadar Srl, Exagon Group, Pisa (Paolo Papeschi, Fabio Giannino); analisi a immagine multispettrale VIS-NIR: CNR-INO (Raffaella Fontana, Jana Striova, Enrico Pampaloni, Alice Dal Fovo, Marco Raffaelli, Marco Barucci).
Finanziamento: Rotary Club Milano Sempione. [Cecilia Frosinini]

Il “Frammento Vaticano” di Giotto recuperato

Nella storia dell’arte medievale le certezze sono rare, le datazioni delle opere viaggiano di decenni se non di secoli, le attribuzioni sono difficili e i nomi d’artista, quando esistono, spesso nebbiosi. Quello che presentiamo oggi, dopo il magistrale restauro effettuato dall’Opificio, è invece un miracolo di storia, di conservazione, di tradizione: un miracolo che restituisce alla conoscenza pubblica quello che senza troppe cautele si può definire un grande inedito pittorico di Giotto e, per altri versi, un concentrato di vicende storiche eccezionali, ed eccezionalmente documentate. La storia è nota, e ne riassumo qui i punti principali. L’iscrizione dipinta sul retro del supporto in gesso, sul quale fu adagiato il frammento dopo lo stacco, dà conto delle prime traversie dell’opera, gemelle di quelle che segnarono il salvataggio e la conservazione di altre reliquie artistiche della basilica:⁶ ne diamo qui la trascrizione:⁷

D · O · M

Has · SS · Principum · Apostolor / um · Petri · et · Pauli · Vultus ·
Imagines · Collectas · Ex · Interio / ri · Parte · Parietis · Antiqui
Templi · Diruti · Anno · MD / CX · Ad · Ampliatio
nem · Vaticanæ · Basi / licæ · A · Petro · Stroza
Pauli · V · Secretario / Eiusdem · Basilicæ
Canonico · Dono / Acceptas · [Matthæ
us · Caccinius]

Matthæus · Caccinius · Ioan: Fil: Ornandas · Curavit · Cultui
Ac · Venerationi · Fidelium · Hoc · In · Loco · Exposuit ·
· ANNO · DNI · MDCXXV ·

In sintesi, l’iscrizione racconta dunque che le immagini, considerate di san Pietro e san Paolo, erano state “collectae”, quindi “raccolte”, dalla “parete interna” dell’antica basilica vaticana, demolita nel 1610; che Matteo Caccini, figlio di Giovanni, le aveva ricevute (“acceptas”) dal segretario di Paolo V, Pietro Strozzi, canonico della basilica, e aveva provveduto a “ornarle”, dunque a sistemarle, restaurarle e certo ridipingerle; e che le aveva esposte al culto e alla venerazione dei fedeli nell’anno 1625, in un luogo che non è esplicitato (“hoc in loco”). È verosimile che appunto in quel frangente l’affresco sia stato deposto nella cassetta lignea e l’iscrizione copiata sul retro di questa: se così fu, l’errore 1610/1616 mostra l’impallidimento della memoria anche di fatti piuttosto recenti riguardanti la basilica. La trascrizione ha cercato di riprodurre la disposizione delle parole dipinte sul gesso, lasciando bianco lo spazio centrale che contiene lo stemma Caccini con i due leoni rosso e azzurro, il primo su un fondo punteggiato da api nere; ha inoltre mantenuto, indicandoli tra parentesi quadre, nome e cognome di Matteo Caccini, che nell’originaria redazione della scritta apparivano nella prima parte, poi invece cancellati e ripetuti più in basso, tuttavia con le tracce d’inchiostro della prima stesura rimaste visibili. Quanto alla presenza delle api, vanno certamente spiegate quale omaggio al pontefice regnante, Urbano VIII, in carica dal 1623. Matteo, botanico amatoriale ma accanito e famoso, della stessa famiglia – di origine romana ma stabilita a Firenze – dello scultore Giovanni, del musicista Giulio e di una delle musiciste più celebri e belle della sua epoca, Francesca, si era stabilito a Roma già dal 1608 presso Leone XI, Alessandro de’ Medici.⁸ Fu certamente il *link* fiorentino a valergli il dono dell’affresco, visto che il donatore fu Piero Strozzi, segretario di Paolo V quale è detto nell’iscrizione. Dopo il 1625, le tracce del dipinto si fanno più nebulose, ma da informazioni provenienti dalla famiglia dei proprietari si può supporre che esso abbia a un certo punto raggiunto Firenze – forse seguendo linee ereditarie della famiglia Caccini – giungendo poi, sempre per vie ereditarie, in proprietà Riccardi del Vernaccia; verso la metà dell’Ottocento Giulia Riccardi sposa Antonio Confidati Sermattei e si trasferisce ad Assisi, portando con sé l’affresco. Nel corso di tutto il secondo Novecento controversie giudiziarie in merito all’eredità avevano di fatto tenuto sequestrato l’affresco: Martinelli,

l'unico ad aver visto e studiato direttamente l'opera nel corso del XX secolo, attesta anche l'inizio di una pulitura, parzialmente eseguita solo sulla figura di destra e poi interrotta.⁹ Gli attuali proprietari hanno avuto la generosità di concedere il prestito del frammento alla mostra *Giotto, l'Italia* nel 2015, e accolto la proposta del Rotary per il suo restauro ad opera dell'Opificio, concluso nell'ottobre 2017.

Non inedito, quindi, il frammento, e recentemente anche visto dal largo pubblico della mostra milanese del 2015. Ma c'è un abisso tra quelle immagini, rese opache dalle ripassature, soffocate dalla spessa ridipintura nera del fondo, sbilanciate dall'effetto ridondante della cornice dorata della cassetta lignea (figg. 1-2), e il frammento emerso ora dal restauro, certo segnato dal tempo e dalle traversie conservative ma intensissimo, finissimo, a dir poco all'altezza della lunghissima catena storiografica che lo lega al nome di Giotto e al suo vasto 'cantiere' nella basilica vaticana.¹⁰ Il restauro ha definitivamente smentito quanto asserito da Martinelli, che considerava l'opera un assemblaggio di "alcuni sottili pezzi di intonaco... ricomposti e fissati su un blocco di gesso bianco".¹¹ In realtà si tratta di un frammento unico: tra l'intonaco dipinto e il supporto sul quale fu adagiato, le pie mani degli operai dell'epoca inserirono gli strumenti usati, evidentemente, per lo stacco o comunque per il lavoro (fig. 13), secondo una procedura devota che conferiva valore a tutto quanto entrasse fisicamente in contatto con immagini considerate sacre o miracolose. Perché queste immagini in particolare abbiano acquisito uno statuto così alto, è oggi difficile dire: certo l'identificazione con Pietro e Paolo ne fu all'origine, ma sembrerebbe ragionevole pensare che anche il luogo di provenienza l'abbia favorito.

Che l'iscrizione rinvii alla caotica situazione della basilica vaticana, via via demolita a partire da ovest, separata in due dalla parete eretta all'altezza dell'undicesima colonna della navata, e munita da Bramante del *tegurium* che includeva e salvava buona parte della parete absidale originaria, non può esserci dubbio.¹² È dunque possibile che gli operai del 1625 si siano limitati a recuperare un frammento già staccato e per così dire musealizzato, magari situato sul muro divisorio cinquecentesco, già privato del suo contesto narrativo originario e assunto al rango di sacro ritratto degli apostoli. Ciò non impedisce evidentemente di

pensare che il frammento provenisse originariamente dall'abside, che è il luogo della basilica nel quale unanimemente le fonti ricordano gli affreschi di Giotto. Ogni altra possibilità sarebbe avallata esclusivamente dalle parole di Vasari, la cui tendenza 'espansiva' specialmente dei cataloghi dei maggiori artisti è ben nota, basti pensare alla Vita di Pietro Cavallini e a quella, appunto, di Giotto.¹³ Vasari assegna a papa Benedetto XI (22 ottobre 1303-7 luglio 1304: un pontificato assai breve per poterlo credere all'origine di grandi progetti decorativi) l'intenzione di far fare pitture a Giotto in San Pietro, e vi collega l'aneddoto della celebre O.¹⁴ Fa dunque partire Giotto per Roma e gli fa eseguire gli affreschi absidali e il polittico. Qualche riga dopo, aggiunge il misterioso "Angelo di sette braccia" in alto sulla parete della navata, le "Istorie del Testamento Vecchio e Nuovo", e "molte altre pitture"; le storie testamentarie sono però soltanto nell'edizione giuntina.¹⁵ Infine, menziona la "Nostra Donna in muro" che sarebbe stata poi riacconciata da Niccolò Acciaiuoli (1310-1365) e per ultima la *Navicella*. Il fatto che in nessun punto delle *Vite* Vasari ricordi Jacopo Stefaneschi fa pensare che egli ignorasse largamente le fonti romane, che mai invece trascurano di menzionare il cardinale quale committente delle opere di Giotto; quanto alle storie testamentarie, dare a Giotto i cicli vetero e neotestamentari di san Pietro sarebbe una scommessa direi votata all'insuccesso.¹⁶ L'ulteriore possibilità evocata da Martinelli, quella dell'ornamentazione della cappella funeraria di Stefaneschi, è anch'essa di fatto impercorribile, come Martinelli stesso già riconosceva. La cappella, dedicata ai santi Giorgio e Lorenzo, è infatti detta "construenda" ancora nel 1329, e non si sa quando sia stata costruita, per il cardinale morto nel 1341.¹⁷ Come ho altrove precisato, la coesistenza nell'abside vaticana tra il mosaico di Innocenzo III, i dipinti murali di Giotto e quelli che Angelico realizzò nel 1447 (per vederli poi prestissimo demoliti) non è affatto impossibile, pur se, di fatto, l'aspetto 'gotico' dell'abside vaticana a noi sfugga largamente, attestato da Jean Fouquet con finestre a traceries gotiche che ben risuonano con quelle similmente gotiche disegnate poi da Grimaldi nella navata.¹⁸

Il restauro dell'Opificio ha messo in luce dati iconografici preziosi. A sinistra, il santo bruno e barbato con veste rossa e un grande, tridimensionale pallio,



1. Giotto,
*Frammento con due
santi*, XIV secolo,
(63x68x11 cm),
Roma, collezione
privata. Immagine
pubblicata da
Venturi nel 1922.

regge nelle mani un libro rilegato in verde, e guarda in basso verso sinistra, come contemplando qualcosa che lì si svolga; il santo di destra invece, più frontale, sembra quasi distogliere lo sguardo che il disegno netto degli occhi rende acuto. Ha corta barba e capelli tonsurati che formano sulla fronte una sorta di grande boccolo. È abbigliato di un manto azzurro con un gigantesco colletto giallo ocra decorato a motivi in parte conservati: difficile vedervi un abito da diacono, è forse piuttosto un manto di lusso, tra l'altro di un colore inabituale.¹⁹ A giudicare dall'asta messa in luce dal restauro, la figura doveva reggere in mano un pastorale, meno probabilmente un cero. La dimensione delle figure doveva essere ridotta, circa metà del naturale, o anche meno. Pensare i due personaggi come apostoli diviene difficile; vederli come santi vescovi sembra più verosimile. Impossibile, oggi, immaginare se nel contesto delle cinque storie di Cristo attestate da Vasari potessero aver posto figure 'attualizzanti'; in basso, rispetto alle due teste, doveva aver

luogo qualche avvenimento, così come nelle scene di *Dormitio Virginis* il fuoco dell'azione è la figura stesa della Vergine attorno alla quale si raggruppano apostoli e – per esempio nel mosaico torritiano di Santa Maria Maggiore – anacronistiche figure di vescovi.²⁰ Ma pur nell'incertezza iconografica, che trascina con sé l'incertezza circa la specifica ubicazione del frammento, la pertinenza di quest'opera recuperata a Giotto, e alla sua spettacolare presenza nella basilica vaticana, risulta oggi di un'evidenza solare; e, allo stesso tempo, pone un problema non semplice di cronologia. Il santo di sinistra, che sembra il fratello maggiore e molto più raffinato della figura che appare nella predella del polittico oggi in Pinacoteca Vaticana, segnala qualche affinità con le figure di santi e profeti dipinte negli intradossi della cappella di San Nicola, basilica inferiore di Assisi, di alcuni dei quali Giorgio Bonsanti aveva molto sottolineato la qualità e la stretta autografia giottesca.²¹ I dipinti murali della cappella sono ancorati agli anni 1300-1301: lo scarto



2. Il frammento prima dell'attuale intervento di pulitura.

stilistico rispetto al frammento di San Pietro mi pare tuttavia, pur nell'affinità tipologica, rilevante. Il santo di destra pone peraltro problemi ancora meno semplici da risolvere, perché, così abbigliato in elegantissimo azzurro, mostra un volto morbido, malinconico, con le labbra arcuate e gli occhi segnati quasi a mandorla, secondo scelte tipologiche e psicologiche che non individuano nella fase precoce di Giotto e che spingerebbero semmai verso sponde ben più tarde, a ridosso di quelle tangenze con Stefano che in qualche modo Vasari forse registra, quando nella Vita di quest'ultimo, nell'edizione giuntina, proprio a Stefano assegna

“in San Piero di Roma, nella cappella maggiore dove è l'altare di detto Santo, alcune storie di Cristo fra le finestre che sono nella nicchia grande... trapassando d'assai nel disegno e nell'altre cose Giotto suo maestro”.²² Vasari aveva forse notato, tornando dopo la metà del secolo a guardare San Pietro e a riconsiderarne le opere, una divaricazione stilistica all'interno di questi misteriosi dipinti murali? La risposta è difficile, e sarebbe del tutto pertinente solo se la provenienza del frammento affrescato dall'abside fosse accertata. Oggi, che una 'nuova' tessera della pittura giottesca è stata recuperata, è forse sufficiente porre la questione e aprire un confronto di opinioni.
[Serena Romano]

Tecnica esecutiva, stato di conservazione e intervento di restauro

Il dipinto, prima di giungere nei laboratori di restauro della Fortezza da Basso, è stato conservato per diversi decenni all'interno di un deposito di sicurezza di un istituto bancario di Roma, avvolto in una stoffa e da diversi strati di carta velina.²³

Per poter affrontare l'intervento e la campagna diagnostica, è stato necessario separare il dipinto dalla cornice, anch'essa sottoposta a un restauro. A una prima sommaria indagine, risulta evidente che si tratta di un frammento di intonaco dipinto inserito in un supporto in gesso, di forma quadrangolare di circa 48 cm di larghezza per 43 cm di altezza e dello spessore di circa 5,5 cm, che raffigura due teste di santi fino all'altezza delle spalle. Ambedue i santi hanno aureole dorate leggermente rialzate, sono raffigurati in abiti ecclesiastici, di quello di sinistra è visibile una mano che tiene un libro, tuttavia non sono riconoscibili specifici attributi iconografici. Sul retro è raffigurato uno stemma araldico con due leoni rampanti e una scritta che riporta la data 1625, oltre a descrivere alcuni dettagli del suo ritrovamento nel luogo di origine, la basilica di San Pietro a Roma (figg. 3-4).

Tecnica esecutiva

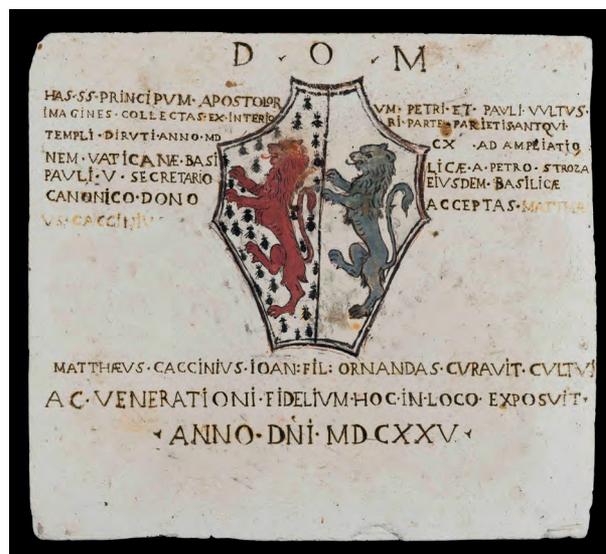
La comprensione della tecnica esecutiva è avvenuta soltanto dopo che è stata eseguita la pulitura e con il supporto delle informazioni ricavate dalla campagna diagnostica. Si tratta di un dipinto eseguito su un intonaco di calce e sabbia grigia dello spessore presunto di circa 1 cm,²⁴ con una granulometria non selezionata e con una superficie liscia e ben levigata (fig. 5). Non è stato possibile verificare la presenza di intonaci di supporto con caratteristiche diverse, come arricci o rinzaffi, anche se non si può escludere che ve ne fossero in origine, ma che si dubita possano essere sopravvissuti all'intervento di distacco.

Non sono visibili segni di attaccature di giornate o di unità lavorative, cosicché si può supporre che ambedue le teste siano state eseguite sulla stessa porzione di intonaco. In realtà la presenza di alcune fratture – si veda quella sottile e orizzontale all'altezza dell'attaccatura delle spalle e quella verticale, colmata con l'ampia stuccatura centrale in corrispondenza del busto del santo di sinistra – determinano una mancanza di continuità della superficie pittorica delle due

figure, che potrebbe mascherare un possibile segno di attaccatura fra intonaci diversi. Tuttavia non vi è nessun accenno, neppure in forma di leggerissima traccia, che possa fornire una diversa indicazione (fig. 6). Non vi è traccia di alcun disegno preparatorio; osservando le immagini dello scanner IR²⁵ e comparandole fra loro nelle diverse lunghezze d'onda, è possibile distinguere alcune pennellate lungo il dorso della mano del santo, che possono far supporre la presenza di tratti disegnativi preliminari alla stesura pittorica (fig. 7). Tuttavia, il pronunciato livello di consunzione di questa zona non consente una appropriata valutazione sulla procedura pittorica utilizzata. Al contrario, secondo la prassi operativa della pittura a buon fresco degli incarnati di Giotto, più volte osservata in altre opere,²⁶ i marcati segni neri e rossi, con cui sono definiti alcuni dettagli fisionomici dei volti, come il profilo del naso e delle labbra, la sagoma bistrata degli occhi e il contorno delle orecchie, hanno una funzione pittorica piuttosto che disegnativa. Sono presenti alcune finissime incisioni dirette, in corrispondenza dell'impronta del decoro del bordo della stoffa rossa del santo di sinistra. Queste decorazioni, come numerose altre finiture a secco che impreziosivano e completavano la pittura, sono oggi in buona parte perdute, mentre si sono conservate in misura maggiore tutte le parti eseguite con la tecnica del buon fresco. Alcune di queste hanno mantenuta integra l'intera stratificazione, come per esempio gli incarnati dei volti, altre hanno perduto parte delle finiture che le completavano, come le mani, altre ancora sono difficilmente valutabili, come la barba e la capigliatura del santo di sinistra, a causa della presenza di estese ridipinture che si è deciso di non rimuovere durante la pulitura. Di particolare interesse è la tecnica degli incarnati che presentano una preparazione in verdaccio, su cui sono applicate le successive stesure pittoriche con colori composti di terre e ossidi,²⁷ in spessori di consistenza variabile, trasparenti e sottili nelle parti in ombra, particolarmente densi e corposi nei massimi chiari. È riconoscibile una fitta stesura di piccole pennellate che, giustapposte l'una all'altra, compongono un effetto pittorico finale di estrema naturalezza. Dove il colore è meglio conservato e privo di ridipinture, si veda in particolare l'orecchio del santo di sinistra o parte della tonsura di quello di destra, si distingue con evidenza ogni singola pennel-



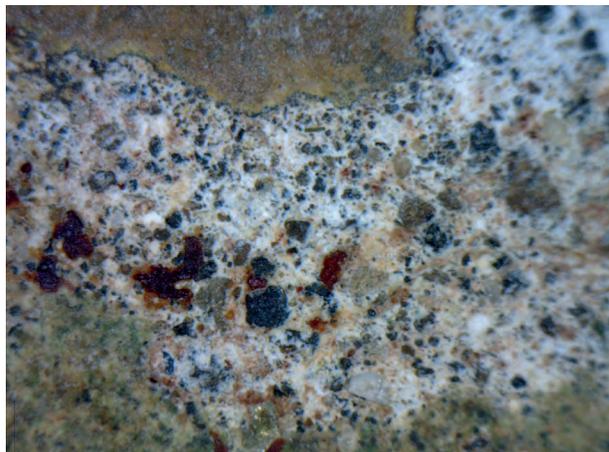
3. Il *recto* del dipinto dopo la rimozione della cornice, prima della pulitura.



4. Il *verso* del dipinto dopo la rimozione della cornice, prima della pulitura.

lata, applicata con spedita sicurezza e con dettagliata cura. Dove la stesura pittorica in buon fresco risulta essere la preparazione per la successiva finitura a secco, come le vesti dei due santi, è stata applicata senza particolare attenzione: con l'ausilio della luce radente, sono infatti riconoscibili le cordate delle pennellate (fig. 8). Delle finiture a secco di queste zone restano tracce estremamente frammentarie realizzate con pigmenti a base piombo e rame,²⁸ associabili all'utilizzo di azzurrite, minio e biacca e con ulteriori ritocchi in oro, di cui si può soltanto intuire il disegno e la composizione. Di queste decorazioni, che impreziosivano il tessuto del santo di sinistra, si percepisce soltanto la traccia delle losanghe e del motivo a meandri, resi leggibili con una certa evidenza nelle riprese in IR fra 1200 e 1400 nm. Di particolare interesse è la stoffa del santo di destra, in cui, oltre ai motivi del colletto con cerchietti e perline e del busto con motivi polilobati eseguiti probabilmente nel corso del restauro seicentesco con una miscela di pigmenti a base di rame, sono presenti leggerissime tracce di una decorazione ben più ricca e raffinata. Di questa decorazione originaria alcuni dettagli sono abbastanza ben distinguibili, come per esempio i tre anelli quadrilobati che scendono dalla scollatura centrale. Le immagini al microscopio consentono di riconoscere una delicatissima esecuzione realizzata in punta di pennello, con

un tratto nero, con lueggiate con bianco di piombo rifinite con lamina d'oro, quest'ultimo individuato grazie alle indagini XRF (fig. 9). Altri dettagli sono riconoscibili con maggiore difficoltà e grazie all'utilizzo di strumenti diagnostici ben più complessi come lo scanner IR. Si possono infatti soltanto intuire i fitti racemi che completavano e arricchivano questa stoffa, di cui non è stato possibile ricostruire un motivo decorativo. Altre finiture si sono conservate in modo più consistente, come le stesure pittoriche eseguite con colori a base di rame e con una preparazione in affresco grigia, l'azzurrite dei risvolti della veste del santo di destra e il fondo azzurro verdastro, dietro le aureole. Queste ultime, anch'esse realizzate con un intonaco di calce e sabbia, sono, secondo la consuetudine di questo periodo, leggermente rialzate rispetto alla superficie pittorica, e presentano i segni di una raggiatura piuttosto approssimativa e poco curata. La loro forma è perfettamente circolare, tanto che si può supporre che il profilo sia stato tracciato con l'ausilio di un compasso sull'intonaco ancora fresco. La piccola abrasione, che si può notare al centro della fronte del santo di destra, fra gli occhi, e fra l'occhio e l'orecchio del santo di sinistra, corrisponde al segno della punta metallica utilizzata per segnare il tondo. La doratura – sia quella originale rinvenuta in pochissimi frammenti, sia quella oggi visibile in massima



5. Dettaglio dell'intonaco a 50 ingrandimenti in cui si può osservare la granulometria non selezionata della sabbia.

parte non originale e applicata nei precedenti restauri, infatti è presente sulle stuccature di integrazione e in numerose abrasioni dell'intonaco originale – è eseguita su una missione oleo-resinosa, addensata con del pigmento a base di piombo, applicata su una base in affresco color oca.

Stato di conservazione e vicende conservative

Il dipinto, seppure pesantemente ridipinto e con una uniforme patinatura di colore giallo-brunastro, non presenta fenomeni di deterioramento in atto, se non alcune e localizzate esfoliazioni della pellicola pittorica rossa del pannello del santo di sinistra. A una più attenta analisi, con l'ausilio della luce radente, si possono individuare numerose stuccature di rifacimento, mascherate da estese e diverse integrazioni pittoriche, applicate in spessori consistenti anche sulla pellicola pittorica originaria (fig. 10). Tuttavia i volti, seppure siano snaturati dalla presenza dello spesso strato di fissativo alterato, sono integri e privi di ampie ripassature. Sono visibili anche alcune prove di pulitura e di rimozione delle ridipinture eseguite in un precedente intervento, durante il quale, come evidenziato dalla fluorescenza UV,²⁹ è stato alleggerito lo strato di sporco sul volto del santo di destra (fig. 11). L'osservazione con la luce radente mette in evidenza una pronunciata mancanza di planarità della superficie pittorica, che, con molta probabilità, è avvenuta durante le operazioni di ricomposizione dell'intonaco in occasione del distacco. Si veda in

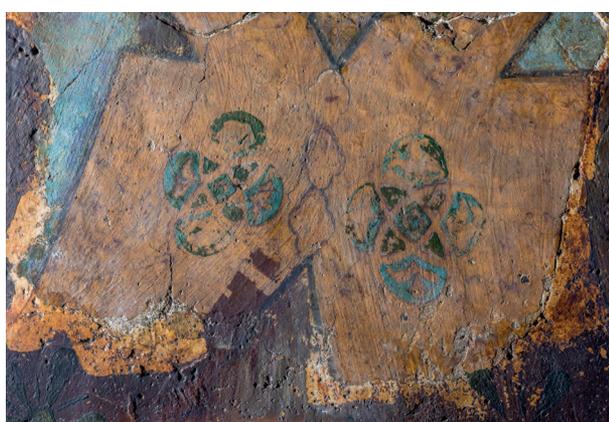
particolare il disallineamento verticale che attraversa la figura del santo di sinistra, parzialmente mascherato da alcune stuccature e integrazioni pittoriche, che il rilevamento 3D mette perfettamente in evidenza (fig. 12).³⁰ Non ci sono evidenze concrete che consentano di individuare con esattezza le tecniche e i materiali utilizzati nelle operazioni di distacco. Si può supporre che il dipinto, un brano frammentario di una composizione di maggiori dimensioni, fosse già parzialmente separato dal supporto murario originale nel momento in cui da esso è stato separato, perché non ci sono segni di colpi e martellinature per favorire questa operazione.³¹ Sicuramente si tratta di uno 'stacco', cioè la rimozione è stata eseguita mediante l'asportazione della pellicola pittorica e anche dell'intonaco pittorico. Non sappiamo se per intero o soltanto in modo parziale, sui margini non c'è la possibilità di osservare lo spessore se non in una piccola lacuna fra le due aureole, che ne lascia intravedere circa un centimetro in profondità. Non sono stati ritrovati segni dell'intelaggio, o "incartonnatura" secondo la dicitura utilizzata dal XVIII secolo in avanti,³² con cui abitualmente si proteggeva la superficie pittorica e si sostenevano i diversi frammenti di intonaco, durante l'esecuzione del distacco. L'unica traccia potrebbe essere la presenza di colla animale, di cui non è stato possibile identificarne con esattezza il tipo,³³ ma che potrebbe aver assolto anche alla doppia funzione di fissaggio o ravvivante della pellicola pittorica. Attualmente la superficie del dipinto è il risultato di una composita stratificazione, in cui alla pittura originale, per sua intrinseca natura piuttosto complessa, si alternano strati, patine e livelli, frutto dei precedenti interventi di ridipintura, protezione o di semplice manutenzione. Le indagini scientifiche, al pari dell'osservazione diretta, compongono un quadro particolarmente complesso da decifrare, a causa delle reciproche contaminazioni che si sono prodotte nel tempo, fra i materiali che sono stati alternativamente applicati con finalità diverse. Si può così giustificare la presenza di alcune sostanze organiche – quali cera, colla o olio – e della loro relativa trasformazione nei rispettivi ossalati,³⁴ che sono state individuate nelle diverse aree del dipinto, senza un preciso ordine. È difficile quindi individuare una specifica procedura esecutiva a cui associare questi materiali, seppure si possono fare ragionevoli supposizioni ba-



6. La luce radente consente di evidenziare le discontinuità della superficie pittorica tuttavia non riferibili ad attaccature di giornata. Sono ben riconoscibili le stuccature eseguite nei precedenti interventi di restauro.



7. Immagine in IR a 750 nm in cui si può notare con una certa evidenza la costruzione pittorica del dorso della mano del santo.



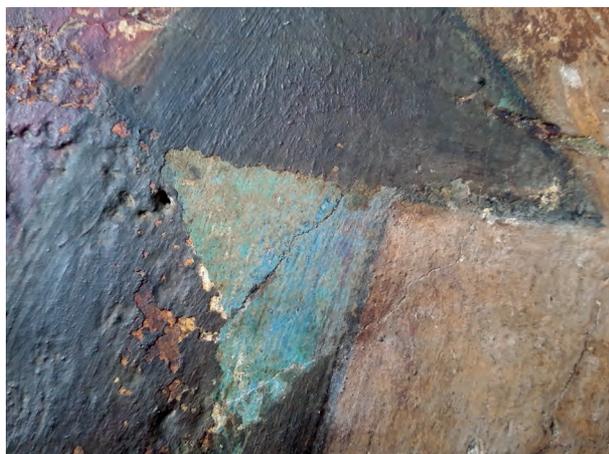
8. Le stesure preparatorie a buon fresco sono eseguite con pennellate spesse e corpose. Dopo la pulitura sono visibili i residui della decorazione originaria, i tre anelli quadrilobati al centro, e sono più evidenti quelli probabilmente eseguiti in un precedente intervento, i due motivi polilobati azzurri. Inoltre in questa immagine è visibile l'attaccatura fra l'intonaco originale e la stuccatura perimetrale in gesso eseguita durante il distacco.



9. Dettaglio della raffinata finitura della decorazione quadrilobata a 50 ingrandimenti.

sandosi su informazioni storiche, tecniche e scientifiche. Si deve sottolineare che, con molta probabilità, questo dipinto è giunto al momento del distacco in condizioni conservative non perfette, o quantomeno già parzialmente compromesse, a causa dei profondi mutamenti strutturali a cui la basilica capitolina era sottoposta. Si può quindi ipotizzare che il dipinto,

nel lungo arco di tempo dalla sua esecuzione agli inizi del XIV secolo fino alla prima metà del secolo XVII, probabilmente sia stato oggetto di interventi di restauro, di cui non abbiamo alcuna testimonianza storica o documentaria, in momenti imprecisati e precedenti al suo distacco. Di sicuro sappiamo che fra il 1610 e il 1625, come ricorda la data riportata sul retro, il dipinto è stato staccato dal muro. Durante questo intervento, secondo una pratica che giungerà fino all'Ottocento, il frammento è stato inserito in



10. Sul risvolto del pannello del santo di destra era presente una ridipintura particolarmente spessa e alterata.

uno spesso strato di gesso rinforzato da stecche di legno o di canna, rilevate dalle indagini radiografiche (fig. 13).³⁵ Queste ultime inoltre hanno mostrato la presenza di quattro oggetti in metallo, lame di coltelli, punteruoli o raschietti, forse alcuni degli strumenti, seguendo la convincente ipotesi espressa da Serena Romano nel suo contributo in questo articolo, utilizzati nel distacco del dipinto. Nel corso di questo intervento sono state eseguite la maggior parte delle ridipinture, la mano, il libro e la veste in lacca rossa del santo di sinistra e la veste arabescata del santo di destra, oltre che una omogenea stesura azzurro-verdastro del fondo, utilizzando un legante proteico o lipidico. In questa occasione è stata applicata anche una miscela di sostanze organiche con il duplice scopo di saturare il colore, ravvivandone temporaneamente la luminosità e migliorandone l'adesione.³⁶ Con questo fissativo-ravvivante – variamente composto da colla animale, olio e cera, con modalità e stratificazioni non del tutto chiare – è infatti molto difficile, limitando allo stretto indispensabile il numero di prelievi di campioni, identificare con certezza la presenza di determinate sostanze organiche.

Successivamente, presumibilmente nel corso dei primi anni del Novecento, basandosi sulla foto pubblicata da Venturi nel 1922 (fig. 1), in una data tuttora imprecisata, il dipinto ha subito un ulteriore intervento di restauro, durante il quale è stata fatta una generale pulitura, alleggerendo i più antichi fissativi, sono state ritoccate le cadute delle precedenti ridipin-

ture in modo goffo e approssimativo, tutto lo sfondo è stato ridipinto di nero, le aureole sono state nuovamente dorate ed è stato applicato un nuovo fissativo di natura organica, per rinvigorire temporaneamente la luminosità dei colori.

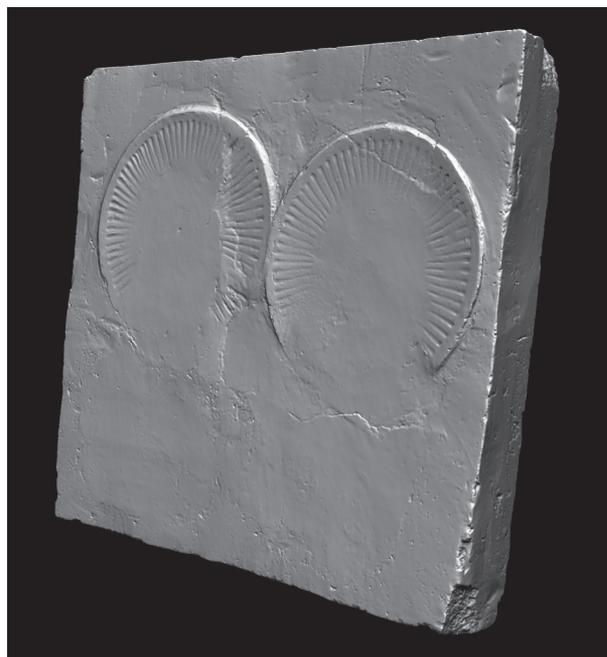
Intervento di restauro

Non è stato necessario intervenire sul supporto e sul retro del dipinto: da un punto di vista conservativo non sono stati individuati fenomeni di deterioramento in atto, cosicché l'intervento di restauro è stato principalmente finalizzato alla rimozione, o quantomeno all'assottigliamento e alla riduzione, di tutti quegli elementi estranei che alteravano il dipinto nel suo insieme. Allo stesso tempo si è cercato di non cancellare del tutto i segni di un passato tanto travagliato. Si è voluto quindi trovare un compromesso che consentisse di valorizzare la straordinaria qualità pittorica che si poteva intravedere sotto le pesanti ridipinture e gli strati di fissativi alterati, cercando di mantenere un'accettabile omogeneità dell'insieme. Si è trattato di un'operazione particolarmente complessa a causa della impossibilità di conoscere preventivamente lo stato di conservazione della superficie pittorica originaria. Infatti, nessuna delle numerose indagini diagnostiche utilizzate ha potuto fornire incontrovertibili informazioni di questo tipo.

La principale necessità è stata quella di procedere in modo graduale e differenziato affinché fosse possibile decidere il livello di pulitura, senza infrangere l'omogeneità d'insieme del dipinto, seppure frutto di pesanti manomissioni e alterazioni. In alcuni casi è stato possibile rimuovere gli strati estranei per intero, come per esempio nel busto e nella mano del santo di sinistra, mettendo in luce la stesura pittorica originaria a buon fresco, consunta e priva di tutte le finiture eseguite a secco, ma pur sempre completa. In altri casi la rimozione delle ridipinture ha permesso di rendere visibili dettagli del tutto obliterati. Per esempio la rimozione di una piccolissima porzione di lamina d'oro del santo di sinistra, in corrispondenza della spalla destra, applicata nei precedenti restauri, ha consentito di mettere in luce un piccolo frammento di pittura originale della stola, che ha restituito un effetto pittorico più convincente all'intera figura (fig. 14). Allo stesso modo è stato possibile far

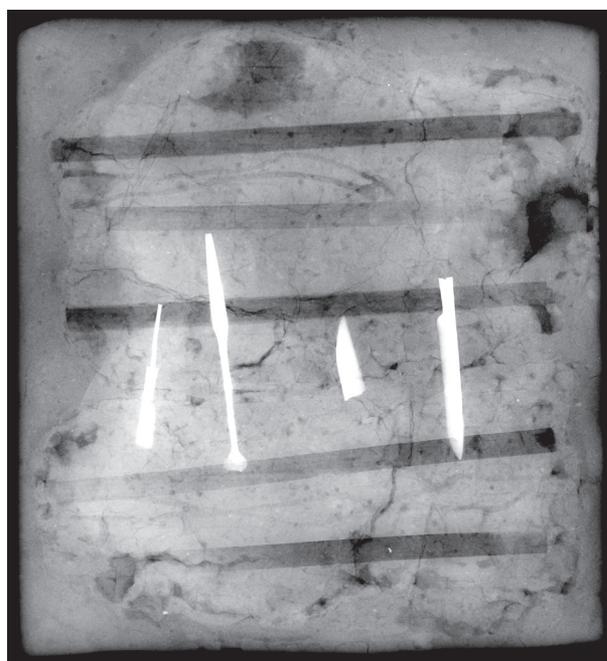


11. La fluorescenza UV evidenzia il diverso grado di ridipinture e fissativi parzialmente rimossi in precedenti interventi di restauro.



12. Il rilievo 3D delle superfici consente di mettere in evidenza le discontinuità del dipinto.

tornare visibile l'asta di un bastone o di un pastorale, che uno dei due santi tiene in mano, di cui si era completamente persa traccia nel corso dei precedenti interventi. Al contrario, se la rimozione della ridipintura del fondo scuro da un lato ha permesso di far riemergere consistenti residui della finitura a secco azzurro-verdastra, d'altro lato ne ha messo in luce il forte contrasto con la reintegrazione in gesso realizzata nel corso delle operazioni di distacco. In altri casi, come per esempio i volti dei due santi, si è preferito soltanto alleggerire lo strato di fissativi, senza rimuoverli completamente, perché questo avrebbe comportato la riscoperta di alcune parti, vedi la capigliatura e la barba del santo di sinistra, molto abrase e lacunose (fig. 15). Un altro compromesso, seppure realizzato in modo diverso, è stato scelto per la pulitura del busto del santo di destra, del quale è stato deciso di conservare alcuni decori della stoffa, che, seppure eseguiti con molta probabilità in un precedente intervento, avrebbero inutilmente impoverito il decoro della stoffa stessa, già privo di gran parte delle finiture originali. L'azione è stata particolarmente complessa ed è stata condotta alternando l'utilizzo di metodi diversi. Dopo le prime prove di pulitura che avevano consentito di verificare in via preliminare gli esiti della rimozione di ridipinture e di fissativi alterati, oltre che di quantificare con mag-



13. La ripresa radiografica ha consentito di individuare la presenza di quattro strumenti metallici, forse punteruoli o lame di rasoi, e di alcuni elementi che potrebbero essere pezzi di canna di bambù. Si può notare anche una differenza di opacità ai raggi X dell'intonaco originale rispetto al gesso della stuccatura perimetrale.



14. La rimozione della lamina d'oro dell'aureola del santo di sinistra ha restituito un effetto pittorico più convincente all'intera figura.

gior precisione l'effettiva estensione della superficie pittorica originale, sono stati eseguiti ulteriori approfondimenti sulla individuazione di una appropriata metodologia da impiegare nelle varie zone.

Mediante una miscela di solventi addensati, alternando e ripetendo più volte l'applicazione,³⁷ è stato possibile assottigliare in modo differenziato le sostanze da rimuovere dei volti e degli incarnati (fig. 16). Dopo numerose prove, si è deciso di utilizzare due diverse combinazioni, quella principalmente usata per gli incarnati composta dall'addensante sintetico, Vanzan NF-C® e da una miscela di solventi, reagenti e tensioattivi Teweem 20, alcol benzilico, etil acetato EDTA tetrasodico in una soluzione tampone con pH 8, e un'altra composta da un solvent gel con Carbopol C940®, come addensante e una miscela di Ethomeen® C 25, acetone, alcol benzilico e acqua, per la rimozione di ridipinture più tenaci. È stato indispensabile lasciare agire i solventi per un tempo di contatto relativamente lungo, fra i 5 e i 10 minuti, durante il quale è risultato molto efficace l'uso di un piccolo pennello per 'massaggiare' la superficie. La successiva rimozione è stata eseguita con una leggera azione meccanica con un batuffolo di cotone o una spugna ad alta densità, facendo particolare attenzione a togliere eventuali residui dell'addensante.³⁸

Di grande utilità, per la rimozione delle ridipinture dal fondo e dalle vesti dei santi, è stato il preliminare irraggiamento della superficie con un laser a Erbio:Yag.³⁹ L'utilizzo di questo laser – che emette una radiazione di 2940 nm con una durata di impulso di 150 µs, impiegato con una energia di 150 mJ, uno spot di 2,8 mm, una frequenza di 5 Hz, che ha prodotto una fluenza di 2,4 J per cm² per ogni singolo spot – ha indebolito la coesione superficiale di queste ridipinture, che sono state rimosse utilizzando una miscela di alcol etilico e acetone in forma libera, limitando l'uso del solvent gel alle parti più indurite. La combinazione dei due metodi ha così reso possibile non solo l'uso di solventi più volatili e quindi potenzialmente meno dannosi, ma ha consentito di ridurre l'azione meccanica del cotone e della spugna.

Per la pulitura della doratura delle aureole⁴⁰ si è deciso di eseguire un'azione particolarmente superficiale, per mantenere un accettabile livello di omogeneità con la pittura circostante. Trattandosi di una doratura relativamente recente, la lamina è integra e omogenea e una approfondita pulitura avrebbe potuto restituire una superficie particolarmente splendente, che male si sarebbe integrata con il resto del dipinto.

Con un analogo approccio metodologico, è stata affrontata la stuccatura e la reintegrazione di lacune e mancanze, trattate in modo differenziato secondo specifici criteri di valutazione. In linea generale si è deciso di mantenere tutte le vecchie stuccature che sono state leggermente corrette e riviste dove palesemente creavano un contrasto con la pittura originale. In particolare si è cercato di smussarne i bordi che sormontavano l'originale, di levigarne la superficie dove era incongrua e 'sopra livello', dopo averne rimosso le ridipinture. In alcuni casi, come per esempio nelle integrazioni delle aureole, si è preferito non eseguire alcun intervento che avrebbe potuto migliorarne l'aspetto, perché questo avrebbe necessariamente comportato la rimozione della lamina d'oro. Una specifica attenzione è stata rivolta alla stuccatura perimetrale in gesso che, dopo la rimozione della ridipintura scura, presentava oltre a una colorazione giallo-aranciata, che creava un inaccettabile conflitto cromatico, anche una superficie eccessivamente levigata. Tuttavia su questa stuccatura erano presenti alcuni tratti di disegno eseguiti nel precedente in-



15. Il frammento dopo la pulitura.

tervento come traccia per realizzare le reintegrazioni del busto dei santi (fig. 17). Si trattava di segni che conservavano un valore di testimonianza storica delle vicende conservative, ma che avrebbero creato un forte contrasto con il dipinto pulito. Per questi motivi si è deciso di coprire la superficie di questa stuccatura perimetrale con una stesura pittorica al fine di ottenere una sorta di neutro matericamente differenziato, ma privo di una marcata intonazione cromatica. Questo 'neutro' è stato realizzato con una miscela di pozzolana ventilata e sabbia finissima, con una piccola percentuale di grassello di calce e resina

acrilica in emulsione acquosa, Primal B 60[®], al 20%. La reintegrazione pittorica è stata eseguita con acquerelli, con la tecnica dell'abbassamento di tono, nelle abrasioni e sulle stuccature con la selezione cromatica (fig. 18). Le abrasioni delle aureole dorate sono state leggermente velate con pigmenti a base di mica e ossidi di ferro legati con gomma arabica.⁴¹ Infine per ricostituire una migliore saturazione della pellicola pittorica, mortificata dai residui dei vecchi fissativi alterati che non sono stati rimossi durante la pulitura, sono state applicate due mani di una resina alifatica, Regalrez 1094[®], all'1% in essenza di petrolio.

[Alberto Felici]



16. Rimozione del gel di pulitura.

Intervento sulla cornice

La cornice dell'opera, di 68 cm di larghezza per 63 cm di altezza per 11 cm di spessore, è composta da un telaio – di quattro regoli perimetrali in legno di pioppo uniti fra loro con incastri a dente in terza – al quale sono applicati gli elementi modanati e le fasce esterne. Sul retro vi è un pannello di chiusura, costituito da tre tavole unite fra loro, anch'esse in pioppo. Il pannello è fissato alla cornice con viti poste lungo il perimetro. La cornice presentava elementi di degrado che ne compromettevano lo stato di conservazione.

Dal punto di vista strutturale si registravano diverse lacune specialmente nel listello perimetrale, dovute sia all'attacco di insetti xilofagi, che a urti subiti nel tempo. Un'importante lacuna era presente nella parte alta sinistra del pannello di chiusura posteriore, dove risultava mancante una porzione di circa 12x5 cm. In questo stesso pannello si registravano anche spacchi e fessurazioni lungo le committiture.



17. Sulla stuccatura perimetrale a gesso, sotto la ridipintura scura del fondo, sono emersi alcuni tratti di disegno eseguiti nel precedente intervento come traccia per realizzare le reintegrazioni del busto.

L'attacco da parte dei tarli si era inoltre ripercosso sulla doratura, dove erano ben visibili numerosi fori di sfarfallamento.

Nel nostro intervento abbiamo inizialmente proceduto con la disinfestazione del legno dall'attacco di insetti xilofagi. Tutti gli elementi sono stati sigillati con film plastico impermeabile e all'interno del volume ottenuto è stata creata un'atmosfera priva di ossigeno e saturata di azoto: dopo una durata di circa 5 settimane, il legno può essere considerato privo, sia di tarli, che di eventuali larve.

Dal punto di vista strutturale sono state integrate le lacune presenti, sia lungo il listello perimetrale che nel pannello posteriore. Tutte le lacune sono state risanate con tassellature in legno di pioppo vecchio, disposte lungo fibra.

Dal punto di vista estetico si è deciso di chiudere parzialmente i fori di sfarfallamento dei tarli. Tutte le integrazioni sono state stuccate con gesso e colla

animale e successivamente la superficie è stata resa uniforme. Infine si è proceduto al ricongiungimento estetico con l'applicazione di foglia d'oro e/o integrazione pittorica.

[Francesca Brogi, Alberto Dimuccio]

Le campagne diagnostiche eseguite dal Laboratorio scientifico per lo studio del dipinto murale "Frammento Vaticano"

Lo studio ha visto il Laboratorio scientifico dell'OPD avvicinarsi, insieme ad altre istituzioni collaboratrici, nella diagnostica utile all'analisi dei materiali costitutivi e della tecnica di esecuzione. Le campagne analitiche sono state tre e le schede relative sono conservate nell'archivio del Laboratorio scientifico con il numero progressivo S_2202. Le ricerche condotte dal nostro laboratorio sono state impostate in base alle osservazioni preliminari del restauratore e ai risultati ottenuti mediante tecniche di diagnostica non invasiva – dal momento che non erano state risolte tutte le problematiche – e si sono concretizzate con lo studio delle stesure filmogene superficiali, dei materiali aggiunti nei passati interventi di restauro e ancora della tecnica di esecuzione. Le indagini sono state condotte anche allo scopo di indirizzare le metodologie di pulitura più appropriate e per comprendere la stratificazione dell'opera alla luce dei precedenti e numerosi interventi di rimaneggiamento.

Su un'opera di dimensioni tanto limitate è difficoltoso effettuare un campionamento esaustivo per lo studio dei materiali e della tecnica, tanto più in presenza di numerose stratificazioni in quanto, benché si tratti di quantità estremamente minimali, un numero elevato di prelievi provoca percentualmente un danno maggiore rispetto a quello che si avrebbe in un'opera di grandi dimensioni a parità di numero di campioni. Nelle tre campagne sono stati effettuati 11 prelievi, di cui 4 selettivi che sono stati analizzati mediante tecniche spettrofotometriche e 7 microcampioni globali per analisi stratigrafiche. Nell'immagine (fig. 19) sono riportate le posizioni dei punti di campionamento: in particolare in giallo sono evidenziati i prelievi selettivi e in bianco quelli globali. Quando è stato possibile si è cercato di ottimizzare il campionamento allo scopo di coniugare lo studio delle ridi-

pinture con quello della tecnica di esecuzione. Tali campioni hanno interessato prevalentemente le parti della pittura originale del frammento, sebbene talvolta pesantemente ridipinta, il campione 11 invece è stato preso dal fondo nella fascia perimetrale eseguita *ex novo*, quindi coperta solo dalla ridipintura.

Spettrofotometria FT-IR

Per caratterizzare la natura chimica delle stesure filmogene superficiali sono stati effettuati campionamenti selettivi di materiale da analizzare mediante spettrofotometria infrarossa a trasformata di Fourier (FT-IR)⁴² con la tecnica delle micropastiche in KBr (diametro 1,5 mm). Due sono state le aree interessate dai prelievi per lo studio dei materiali filmogeni, una sui carnati di ciascun santo (fig. 19, campioni 6 e 7) e l'altra sul manto del santo a destra (fig. 19, campioni 1 e 2), in quest'ultimo caso le posizioni sono state scelte per caratterizzare i materiali su un'area originale e sul rifacimento perimetrale. I campioni 1 e 2 hanno spettri poco definiti a causa della diluizione dovuta alla scarsità del materiale prelevato (si è adottata la massima cautela per non intaccare gli strati pittorici sottostanti); l'andamento del grafico è sostanzialmente lo stesso: risultano composti prevalentemente da whewellite, ossalato di calcio mono-idrato, insieme a evidenti segnali di calcio nitrato, pochissime tracce di materiale di natura argillosa e minime tracce di gesso; in particolare, l'unica differenza tra i due è la minor quantità di nitrato e l'assenza di materiale argilloso per il campione 1, quello prelevato sulla fascia perimetrale. I campioni 6 e 7 sono risultati composti anch'essi prevalentemente da whewellite insieme a evidenti segnali di nitrati, oltre a minime tracce di silicati assimilabili alle ocre. In tutti i campioni analizzati la presenza di ossalato di calcio indica la profonda trasformazione di un materiale organico, inoltre la contemporanea sussistenza di nitrato indirizza verso l'origine proteica (il nitrato infatti si forma dalla degradazione ossidativa degli aminoacidi), pertanto si ipotizza la presenza di un fissativo e/o di una colla animale applicati sulla superficie (fig. 20). Il fatto che il campione 1 non abbia nitrato può significare che sulla fascia perimetrale non sia stato eseguito un trattamento o non sia stato dato un ravvivante contenente colla animale.



18. Il frammento a restauro ultimato.

19. Posizioni dei punti di campionamento: in giallo i prelievi selettivi per FT-IR e in bianco quelli globali per sezioni stratigrafiche.



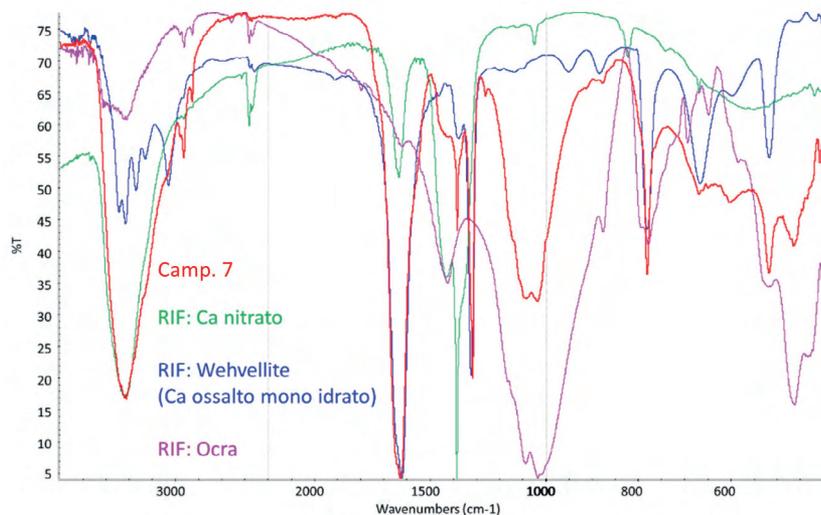
Sezioni stratigrafiche

I prelievi globali sono stati inglobati in resina poliestere, molati, lucidati e studiati al fotomicroscopio⁴³ in luce visibile e ultravioletta secondo la tecnica delle sezioni stratigrafiche, successivamente sono stati analizzati al microscopio elettronico a scansione (SEM)⁴⁴ con microsonda elettronica (EDS).⁴⁵

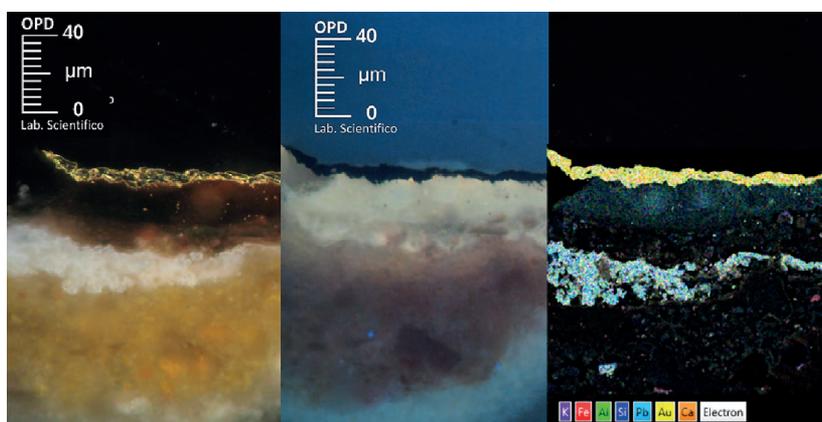
Lo studio della doratura (campione 3) è stato effettuato su un prelievo dell'aureola del santo a destra, in una zona originale. Si può osservare la seguente stratigrafia: sui residui di un intonachino pittorico vi è una stesura giallastra a base di ocre stesa a calce, dello spessore compreso tra 20 e 40 μm ; al di sopra una sottile stesura biancastra a base di bianco di piombo dello spessore di 20 μm circa, alla quale seguono due sottili missioni oleose, la prima (5 μm circa di spessore) leggermente caricata con poche terre e ocre, la successiva (spessore 5-10 μm circa), semitrasparente nel visibile e con intensa fluorescenza biancastra sotto UV, contiene del Pb finemente disperso, probabilmente come catalizzatore del processo di essiccazione, conclude una spessa foglia d'oro non brunita (spessore circa 4 μm) (fig. 21).

Gli incarnati sono rispettivamente i campioni 4 e 9;

il primo, prelevato dal dito medio del santo a sinistra, ha una stratigrafia che inizia con l'intonachino pittorico eseguito a calce e sabbia a cui segue una sottile stesura pittorica di terra verde come sottofondo di una stesura pittorica rosata a base di calce e ocre rossa a granulometria finissima. Al di sopra vi è una sottilissima stesura filmogena, probabilmente organica, avente una fluorescenza calda; infine uno strato pittorico, verosimilmente una ridipintura, realizzato con terre, ocre, poco nero di carbone e rari granuli di vermiglione, quest'ultimo in accordo con le indagini XRF effettuate in un punto analogo. È stato eseguito il test per l'identificazione e la localizzazione dei materiali collagenici, che è risultato positivo parzialmente a livello dell'ultimo strato. L'altro carnato, prelevato dal collo del santo a destra, differisce a livello di strati pittorici: sopra l'intonachino a calce e sabbia vi è una stesura giallo-brunastra, simile a un verdaccio, eseguita con terre, ocre e nero di carbone a calce; al di sopra si rileva una regolare stesura di sola calce (circa 20-30 μm) con inclusi alcuni inerti silicatici semitrasparenti, conclude una spessa e irregolare ridipintura (spessore 30-150 μm), ricca di legante con intensa fluorescenza biancastra e poverissima di pigmento, tra cui alcune



20. Spettro FT-IR del campione 7 comparato con standard di riferimento di nitrato e ossalato di calcio e un'ocra gialla.



21. Montaggio fotografico di immagini al microscopio ottico del campione 3: a sinistra in luce diffusa, al centro in luce UV e a destra la mappa di distribuzione degli elementi ricavata al SEM/EDS.

terre e poche ocre. L'ultravioletto mette in evidenza una diffusa fluorescenza biancastra di quest'ultimo strato dovuta al particolare tipo di legante, che dalle analisi risulta essere una cera saponificata con calce incorporante i pochi granuli di pigmento.

I rossi indagati sono due: il campione 5, prelevato dal manto sulla spalla sinistra del santo di sinistra, e il campione 8, preso dal bordo del colletto della veste del medesimo santo. Quest'ultimo è composto da una sottile stesura pittorica brunastra (spessore 10 µm circa) a base di terre e ocre, qualche raro grano di ematite e altrettanti rari grani di nero di carbone, sopra l'intonachino pittorico a base di calce e sabbia; si evidenzia che il film pittorico appare particolarmente abraso e in queste mancanze il test eseguito con AB3 mette in luce la presenza di residui di colla.

L'altro campione risulta molto più complesso, in quanto sul consueto intonachino pittorico vi è una

stesura a base di terre, ocra rossa e nero di carbone in bianco di calce, di spessore 10-25 µm circa, alla quale segue una sottilissima stesura di sola calce (5 µm circa); di seguito una stesura all'apparenza semitrasparente nel visibile e con fluorescenza biancastra sotto UV (spessore 20 µm circa), che al test specifico con AB3 dimostra essere di natura proteica. Al di sopra di quest'ultima si trova una stesura di lacca rosso-violacea, ben visibile a causa della sua fluorescenza ultravioletta, che penetra nei cretti dello strato sottostante; concludono due sottili stesure filmogene, la prima priva di fluorescenza mentre la seconda rivela un'intensa fluorescenza biancastra sotto UV (fig. 22). La particolare, vivida fluorescenza della lacca induce a ipotizzare l'impiego di un recente pigmento di sintesi.

Il campione 10, prelevato dal manto bruno del santo a destra, sopra l'intonachino a calce e sabbia presenta

una stesura giallastra del tutto simile a quella rinvenuta sotto la doratura precedentemente descritta; segue poi una stesura avente le stesse caratteristiche morfologiche e composizionali della cera saponificata del campione 9, spessa tra 10 e 20 μm ; al di sopra si notano residui irregolari di una mano di sola colla animale, ben evidente dopo il test AB3 per la localizzazione delle proteine collageniche; concludono una ridipintura brunastra a base di terre e ocre in abbondante legante oleoso (spessore circa 10 μm) e una sottilissima stesura filmogena con fluorescenza biancastra sotto UV, anch'essa contenente del piombo come l'analogia stesura finale del campione 3.

Infine la sezione relativa al campione 11 – inerente al fondo scuro prelevato fra la spalla e l'aureola del santo a sinistra – risulta costituita da una stesura pittorica verdastra, scura, a base di malachite in verderame trasparente, con poche terre e ocre di spessore circa 30 μm e applicata su uno stucco bianco, in accordo con le analisi XRF di altri punti dello sfondo scuro. Da notare la scarsa adesione del film pittorico allo stucco sottostante (fig. 23).

[Federica Innocenti, Carlo Galliano Lalli,
Giancarlo Lanterna]

Studio spettroscopico non invasivo mediante spettroscopia infrarossa in riflessione del "Frammento Vaticano" di Giotto

Allo scopo di fornire informazioni sulla natura chimica dei materiali pittorici dell'opera sono state eseguite indagini puntuali non invasive attraverso la spettroscopia infrarossa (FT-IR) in riflessione. Particolare attenzione è stata rivolta alla caratterizzazione e discriminazione dei materiali pittorici impiegati nella realizzazione dell'opera seguendo le indicazioni dei restauratori per evidenziare porzioni originali o di rifacimento. Le indagini non invasive sono state condotte prima dell'intervento di restauro, su un'opera quindi caratterizzata da una complessa stratigrafia derivante da diversi interventi di ridipintura, protezione e manutenzione.

La spettroscopia infrarossa in riflessione permette, infatti, di identificare le componenti organiche e inorganiche, originali e di restauro,⁴⁶ di una pellicola pittorica in maniera non invasiva e senza alcun contatto con la superficie da analizzare. Le strumentazioni di spet-

troscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FT-IR), utilizzate per lo studio del frammento in esame e disponibili presso l'Istituto di Scienze e Tecnologie Molecolari del CNR di Perugia,⁴⁷ permettono di investigare un ampio intervallo spettrale che include il medio e il vicino infrarosso (per un intervallo totale 10.000-400 cm^{-1}). Una finestra spettrale così ampia consente di indagare sia le bande fondamentali di vibrazione che le bande armoniche e di combinazione⁴⁸ delle componenti molecolari nei materiali analizzati. Poiché le proprietà di assorbimento della radiazione infrarossa da parte del campione variano con l'energia nell'intervallo spettrale considerato, l'esplorazione del vicino e del medio IR permette di ottenere informazioni composizionali sia dagli strati superficiali che da quelli più interni.

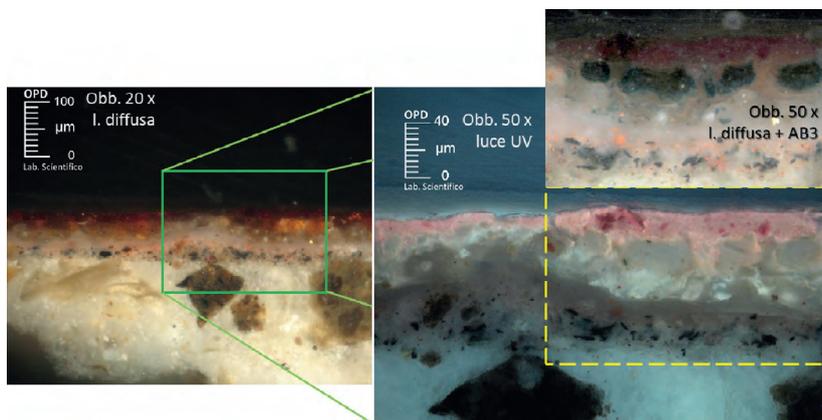
Nei seguenti paragrafi saranno discussi i risultati FT-IR ottenuti cercando di evidenziare i materiali utilizzati nella stesura originale e quelli applicati successivamente. L'interpretazione spettrale verrà anche integrata con accenni alle misure composizionali di fluorescenza X condotte dall'ENEA e discusse nel presente bollettino.⁴⁹

Risultati

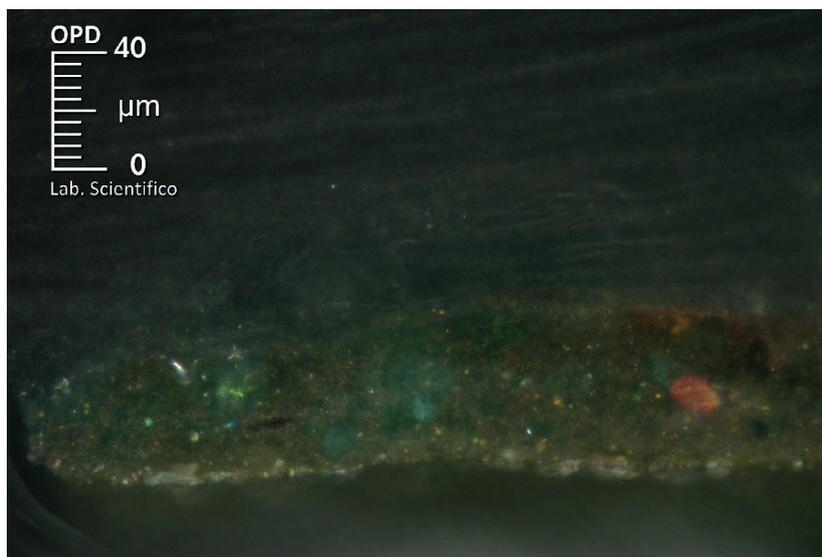
Nell'immagine (fig. 24) si riportano i punti di misura eseguiti con le due strumentazioni FT-IR sul fronte del frammento. Nelle tabelle 1 e 2 sono inseriti i risultati composizionali ottenuti correlati alla descrizione del punto di analisi, specificando l'originalità o meno dell'area considerata secondo le indicazioni dei restauratori.

L'analisi FT-IR condotta su 28 punti di misura con la strumentazione Alpha-R e su 11 punti con quella Jasco NIR ha chiaramente identificato la presenza di una componente lipidica sulle zone definite non originali (vedi i commenti nelle tabelle 1 e 2). Nell'immagine (fig. 25) si riporta, a titolo di esempio, uno spettro registrato in corrispondenza di una zona non originale (punto 02) che evidenzia due segnali caratteristici a circa 4300 cm^{-1} che indicano la presenza di una componente lipidica. Tale componente è evidente anche nelle zone definite originali ma che presentano materiale filmogeno superficiale (tabella 1).

In alcune delle aree non originali non si esclude la presenza di una componente cerosa accanto a quella lipidica. Le aree originali sono spesso caratterizzate



22. Microfotografie al MO della sezione stratigrafica del campione 5: a sinistra obiettivo 20x in luce visibile, a destra dettaglio della fluorescenza UV e, nel riquadro in alto a destra, la stessa area in luce diffusa dopo test di colorazione con AB3 (obiettivo 50x).

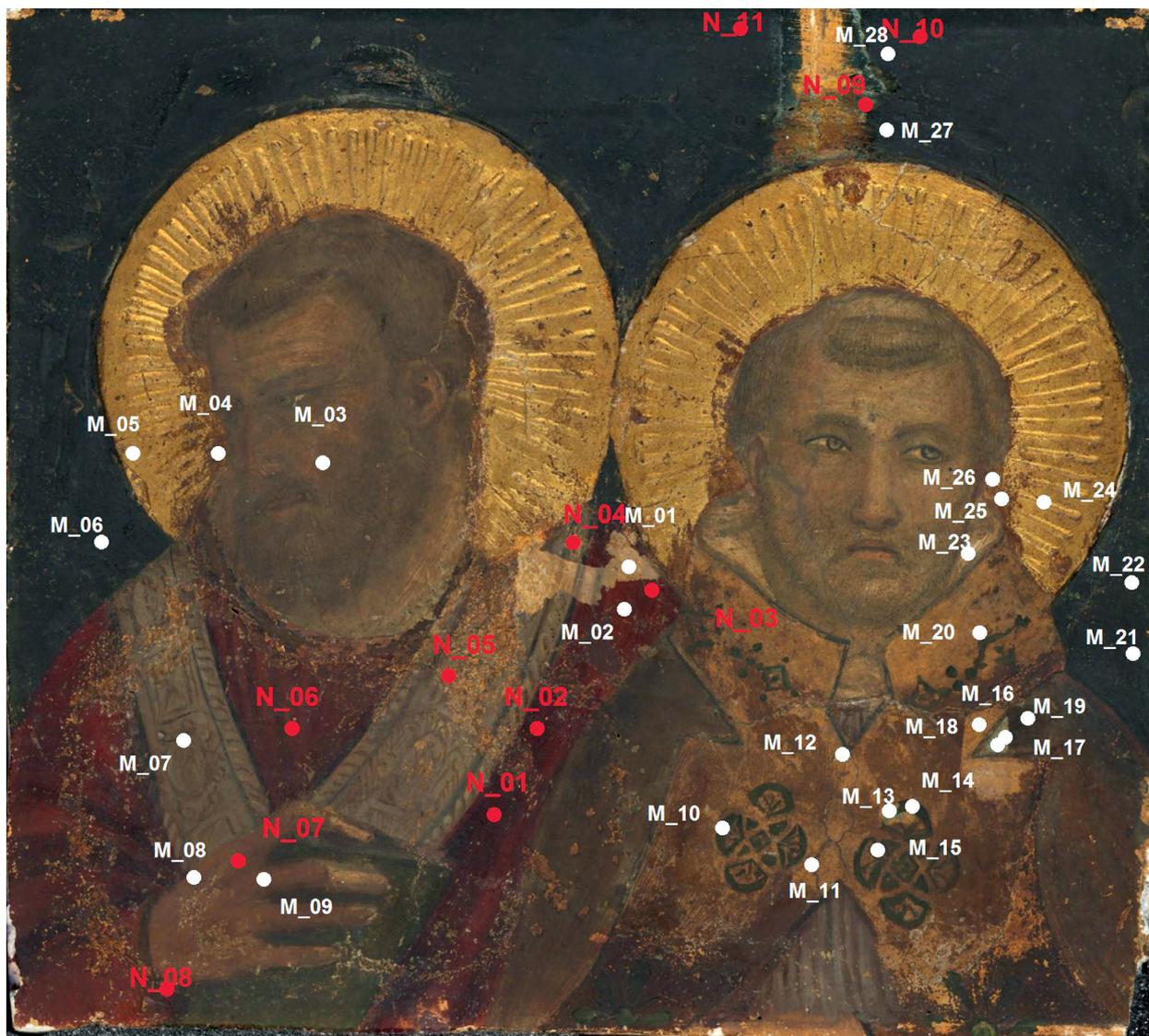


23. Macrofotografia al MO in luce diffusa (obiettivo 50x) di un frammento di strato pittorico distaccato verde scuro.

da intensi segnali del supporto carbonatico, ciò può essere interpretato in termini di: a) stesure pittoriche eseguite a fresco e/o b) stesure pittoriche eseguite a secco con legante organico i cui segnali sono coperti da quelli del carbonato di calcio del supporto. In alcuni casi (tabella 1), in genere nelle aree definite originali, si osserva un debole segnale a circa $1580\text{-}70\text{ cm}^{-1}$ che potrebbe indicare anche la presenza di una componente proteica da confermare attraverso ulteriori indagini microdistruttive.

Sotto lo strato di ridipintura e in corrispondenza degli strati originali si osservano tenori variabili ma in genere consistenti di ossalati di calcio che sono facilmente rivelabili tramite FT-IR (fig. 25). La loro presenza in tutti i punti analizzati definiti originali suggerisce che gli ossalati interessano l'intera superficie del frammento come conseguenza di particola-

ri condizioni ambientali o trattamenti precedenti.⁵⁰ Molti degli spettri FT-IR sono caratterizzati dalla presenza di segnali indubbiamente associati alla presenza di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), in alcune di queste aree (vedi tabella 1) non si esclude la presenza, anche se in quantità minime, di gesso emi-idrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$). Nella maggior parte dei casi il solfato di calcio è riconducibile al supporto sottostante l'affresco staccato, infatti, è identificato principalmente tramite le bande vibrazionali di combinazione e armoniche visibili nella porzione dello spettro del vicino infrarosso (fig. 26). In pochi casi (vedi tabella 1) si osservano intensi segnali di solfato di calcio nella parte dello spettro a bassi numeri d'onda maggiormente sensibile agli strati superficiali del campione. Tali punti sono stati registrati in corrispondenza di aree ritoccate, non si può escludere quindi che il ges-



24. Immagine del frammento con indicati i punti di misura FT-IR (in bianco) e *near* FT-IR (in rosso).

Nome del punto	Descrizione del punto	Risultati
G_M_01_bianco	strato presunto originale punto XRF 18	ossalati (di Ca), gesso, CaCO ₃ , possibile componente silicatica.
G_M_02_rosso	ridipintura rossa punto XRF 19	legante lipidico, ossalati di Ca (segnali meno intensi rispetto alle zone definite originali), probabile gesso, banda a 1580cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato)
G_M_03_incarnato	possibile pittura a fresco originale con sovrapposizione di materiale filmogeno	segnali di una componente organica (forse lipidica) simile al punto 02, non si vede però il doppietto nel NIR del lipide che potrebbe indicare uno strato organico superficiale piuttosto che di legante. Tutte le bande sono molto strette con un debole segnale a 720 cm ⁻¹ (cera?). CaCO ₃ , ossalati di Ca, banda a 1580cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato), caolino
G_M_04_doratura	doratura presunta originale	componente lipidica, forse cera, ossalati di Ca (segnale debole) banda a 1580cm ⁻¹ (difficile capire se si tratta di un proteico a causa della presenza di ossalati)
G_M_05_doratura	doratura non originale	lipide, forse cera, ossalati di calcio, gesso, carbonato forse di calcio, banda a 1580cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato)
G_M_06_blu	sfondo non originale punto XRF 14	azzurrite, gesso molto intenso nella zona a bassi cm ⁻¹ , carbonile e CH tipo lipide ma non si vede il doppietto tipico poiché coperto dai segnali dell'azzurrite, ossalati di Ca, banda a 1580cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione, potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato)
G_M_07_grigio	stola presunto ritoccato	componente lipidica, evidente carbonile in forma di flesso a 1735 cm ⁻¹ , i segnali dell'organico sono molto intensi e sharp da far ipotizzare anche la presenza di una cera, ossalati di Ca, CaCO ₃ , gesso
G_M_08_incarnato	presunto ritoccato profilo nuovo della mano	componente lipidica, evidente carbonile in forma di flesso a 1735 cm ⁻¹ , i segnali dell'organico sono molto intensi da far ipotizzare anche la presenza di una cera, ossalati di Ca, CaCO ₃ , gesso
G_M_09_incarnato	zona chiaramente ritoccata, ma con sotto l'originale	rispetto al punto 08, qui c'è CaCO ₃ molto più evidente, stessi segnali componente lipidica, evidente carbonile in forma di flesso a 1735 cm ⁻¹ , i segnali dell'organico sono molto intensi da far ipotizzare anche la presenza di una cera, ossalati di Ca, CaCO ₃ , gesso
G_M_10_nero	decorazione manto non originale	azzurrite, carbonile e CH tipo lipide ma non si vede il doppietto tipico poiché coperto dai segnali dell'azzurrite, ossalati di Ca
G_M_11_decoro	area in corrispondenza del decoro originale ora rimasto solo residuo; la linea è molto più sottile rispetto all'area misurata dallo strumento	carbonile a 1735cm ⁻¹ , CaCO ₃ , gesso intenso, ossalati, silicati, banda a 1580 cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato)
G_M_12_decoro	decoro residuo dell'originale con porzione bianca con probabile oro residuo	carbonile a 1735cm ⁻¹ , CaCO ₃ , gesso intenso, ossalati, silicati, banda a 1580 cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato)
G_M_13_azzurro	azzurro/verde visibile sotto decoro nero non originale, area campionata maggiore del punto	no materiale organico, CaCO ₃ (molto evidente), debolissima azzurrite, tanti ossalati di Ca, gesso
G_M_14_nero	decoro nero non originale a fianco della pittura verde/azzurra che chiaramente è sottostante	lipide, ossalati di calcio, non chiaro se presente cera, se c'è azzurrite è molto debole, gesso (debole segnale), CaCO ₃ (debole) banda a 1580cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato).
G_M_15_nero	altro decoro nero ritoccato	lipide, azzurrite, CaCO ₃ , ossalati di Ca, picco a 1580cm ⁻¹ (di non chiara assegnazione potrebbe essere materiale organico/proteico oppure segnale dell'ossalato)
G_M_16_azzurro	pittura originale	azzurrite, lapislazzuli, ossalati, gesso, zona della banda di stretching del carbonile con segnali molto deboli, sovrachiatati dal segnale a 1600 dell'ossalato allargato, segnali di CH stretching sono deboli, bande allargate a 1570 e 1470 cm ⁻¹ , forse proteico

Nome del punto	Descrizione del punto	Risultati
G_M_17_azzurro	pittura originale	azzurrite, lapislazzuli, ossalati, gesso, zona della banda di stretching del carbonile con segnali molto deboli, sovrachiarati dal segnale a 1600 dell'ossalato allargato, segnali di CH stretching deboli, bande allargate a 1570 e 1470 cm^{-1} , forse proteico
G_M_18_bianco	su originale	CaCO_3 , gesso, ossalati di Ca, non evidenti segnali di materiale organico.
G_M_19_nero	manto di ritocco	carbonile a 1740 cm^{-1} (non presente nelle zone originali, per esempio punto 17), azzurrite non chiaramente evidente, lipide, ossalati, CaCO_3 , gesso ma solo con bande nel medio IR (non visibili le bande nel NIR)
G_M_20_nero	decoro non originale, dove sotto non dovrebbe esserci pittura originale a base di Cu	no azzurrite, ossalati, componente lipidica, forse cera, segnale intorno a 800 non assegnato
G_M_21_nero	nero dello sfondo non originale	non c'è azzurrite, ossalati, tanto gesso e materiale organico (lipide, forse cera ma non si esclude altro materiale organico), CaCO_3
G_M_22_nero	fatto altro nero dello sfondo, sicuramente non originale	come il punto 21 non c'è azzurrite, ma gesso, ossalati di Ca, lipide e forse cera, CaCO_3
G_M_23_bianco	sfumatura bianca su incarnato originale	CaCO_3 e ossalati di calcio, no evidente materiale organico, gesso
G_M_24_doratura	non originale	lipide, cera, banda a 1640 (organico o ossalati) con spalla a 1560 cm^{-1} , ossalati di calcio, gesso, carbonato di calcio, debole banda a 1700 cm^{-1} (resina naturale)
G_M_25_doratura	residuo di doratura originale	lipide debole, non si esclude proteico (dalla forma dei CH e zona amidi), ossalati, gesso
G_M_26_doratura	decorazione oro originale	lipide debole, non si esclude proteico (dalla forma dei CH e zona amidi), ossalati, gesso
G_M_27_nero	nero con sotto l'originale	non c'è azzurrite, componente lipidica, ossalati di Ca, CaCO_3 e gesso (debole)
G_M_28_nero	su ritocco con sotto niente di originale	azzurrite non presente o al limite di rivelazione, gesso (tanto), ossalati di Ca, lipide e forse cera

Tabella 1. Misure di spettroscopia mid FT-IR condotte con la strumentazione Alpha-R prima dell'intervento di pulitura.

Nome del punto	Risultati
G_N_01_grigio	gesso
G_N_02_fondo_bianco	gesso segnali molto intensi
G_N_03_rosso	meno intenso il segnale del gesso che comunque è presente
G_N_04_fondo	segnale del gesso meno evidente, componente lipidica
G_N_05_stola	gesso molto evidente, componente lipidica
G_N_06_rosso	no gesso, si lipide e forse cera
G_N_07_incarnato	gesso non evidente, lipide
G_N_08_mano	gesso evidente, componente lipidica
G_N_09_azzurro	lipide molto intenso, gesso debole
G_N_10_blu	gesso evidente, componente lipidica
G_N_11_azzurro	gesso evidente, componente lipidica

Tabella 2. Misure di spettroscopia NIR condotte con la strumentazione Jasco NIR prima dell'intervento di pulitura.

so possa far parte del materiale usato negli interventi successivi.

Tra i pigmenti chiaramente identificati nelle aree originali c'è l'azzurrite (vedi tabella 1 e fig. 26 per la distribuzione). Essa è presente assieme al lapislazzuli in corrispondenza delle decorazioni azzurre originali (fig. 26, spettro blu). L'azzurrite è presente inoltre anche in alcuni elementi scuri/grigi in corrispondenza delle aree chiaramente non originali oltre che nello sfondo non originale corrispondente al punto di misura M06 (fig. 26, spettro nero).

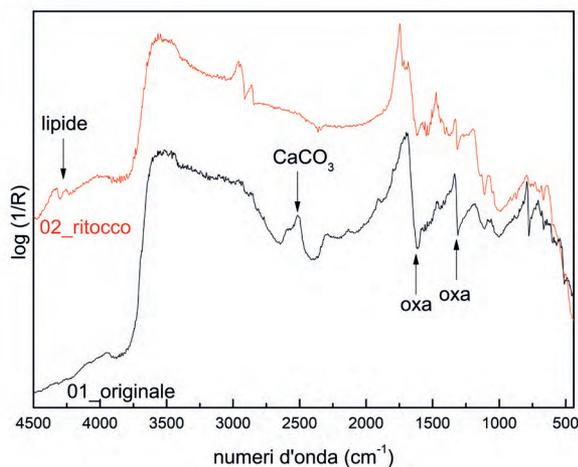
Le aree bianche originali e l'unico punto originale di incarnato analizzato sono caratterizzati dalla presenza di elevati segnali di carbonato di calcio, tale risultato è in accordo con le misure XRF. Diversamente, le zone di incarnato definite non originali mostrano variabili tenori di piombo all'analisi elementare XRF suggerendo l'utilizzo di biacca che tuttavia non è stata identificata tramite la spettroscopia FT-IR.

Nell'immagine (fig. 27) si riportano i punti di mi-

sura FT-IR registrati con la strumentazione portatile Alpha-R sul retro del frammento e in tabella 3 i corrispondenti risultati.

Nome del punto	Descrizione	Risultati
G_M_29_blu	retro (datato 1620)	componente lipidica, intense bande invertite tipo silicati, no azzurrite, no lapislazzuli, smaltino(?).
G_M_30_rosso	retro leone	segnali del gesso, CH tipo lipide/proteico, ma senza evidente carbonile, il gesso copre tutti i segnali di un possibile proteico.
G_M_31_inchiostro		solo segnali del gesso, no segnali dell'inchiostro.
G_M_32_blu	spettro simile al punto di misura 29 del blu del retro	componente lipidica, intense bande invertite tipo silicati, no azzurrite, no lapislazzuli, smaltino(?), ossalati. Rispetto al blu 29 c'è più gesso.

Tabella 3. Misure midFT-IR condotte con la strumentazione Alpha-R prima dell'intervento di pulitura.



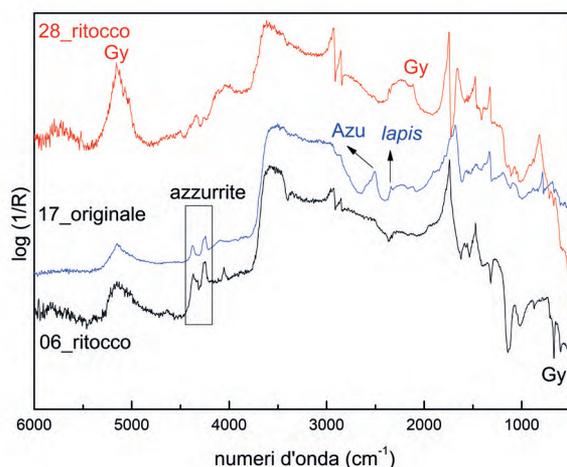
25. Spettri midFT-IR su due punti del frammento: 01 su zona originale ricco in CaCO_3 ed evidenti segnali di ossalati di calcio (oxa); 02 su un'area ritoccata nella quale si evidenziano i segnali di una componente lipidica.

La natura del pigmento rosso non è stata identificata mentre nel caso del pigmento blu sono presenti due intensi segnali associati al gruppo funzionale Si-O di una componente silicatica. Tale informazione spettrale associata alla presenza di cobalto identificato tramite misure XRF condotte dall'ENEA suggerisce l'uso di smaltino.

Conclusioni

Le indagini non invasive FT-IR condotte prima dell'intervento di pulitura hanno reso evidente la presenza di diversi materiali organici (componenti lipidiche, proteiche e cerose) presumibilmente da attribuire ai diversi interventi di ridipintura, di protezione e manutenzione ai quali è stato sottoposto il frammento. Su tutta la superficie del dipinto sono stati individuati ossalati di calcio, anche questi correlabili agli interventi di restauro passati o a una particolare conservazione del frammento.

I pigmenti originali identificati sono il lapislazzuli e l'azzurrite, chiaramente individuati negli strati originali già esposti. Non è chiara invece la natura del pigmento utilizzato nello sfondo scuro del frammento per il quale in un solo punto si è potuto chiaramente identificare la presenza di azzurrite.



26. Spettri FT-IR registrati in corrispondenza di tre punti del frammento; punto 06-blu su zona ritoccata nel quale si evidenzia la presenza di azzurrite e i segnali di gesso che sembrerebbe coinvolgere gli strati superficiali del dipinto; il punto 17-azzurro è stato acquisito in un'area originale ed è caratterizzato dalla presenza di azzurrite e lapislazzuli (Azu, lapis); infine il punto 28-scuro di ritocco nel quale sono evidenti intensi segnali del gesso sottostante la pittura derivante dal substrato nel quale è stato inserito il frammento nel 1600.

La presenza del gesso non è sempre correlabile al supporto nel quale è stato fissato il frammento al momento del distacco. Non si esclude infatti che in alcuni casi esso possa essere presente nei materiali di ritocco utilizzati.

[Laura Cartechini, Costanza Miliani, Francesca Rosi, CNR-ISTM, Perugia]

Indagini di fluorescenza X

Le indagini XRF sul frammento sono state effettuate il 27 ottobre 2016,⁵¹ in occasione di una campagna di misure più ampia che ha interessato altre opere in restauro presso i laboratori dell'OPD, nell'ambito di una collaborazione tra quest'istituto e l'ENEA consolidata da decenni, che vede l'impiego di tale tecnica di indagine non distruttiva come una sorta di apripista volta a fornire una risposta preliminare sui materiali impiegati, in particolare i pigmenti, prima di mettere in campo tecniche analitiche più sofisticate o pianificare eventuali indagini su prelievi.

Nelle immagini (figg. 28-29) è riportata sull'opera, così com'era al momento dell'esecuzione delle misure, la posizione dei punti esaminati sul *recto* e sul *verso* del frammento, mentre nella tabella 4 gli stessi punti sono organizzati per colore e sono riepilogati i risultati, cioè le intensità delle righe principali di fluorescenza degli elementi individuati in ciascun punto, sotto forma di ratei di conteggio (cps), posti in ordine di energia crescente delle righe di fluorescenza stesse.⁵² Per diversi fattori legati alla natura e alla struttura delle zone indagate, le intensità, pur essendo proporzionali ai quantitativi degli elementi presenti nel punto di misura, non possono essere correlate direttamente alle concentrazioni, ma consentono di confrontare per ogni elemento i valori misurati nei vari punti; le variazioni d'intensità di un elemento si possono interpretare infatti come variazioni di concentrazione di quell'elemento da punto a punto.

Oltre al calcio, sono associati alla composizione dell'intonaco stronzio (che costituisce un vicariante del calcio), silicio, potassio e quantitativi minimi di titanio e ferro, riferibili a impurezze degli aggregati dell'intonaco. Le basse energie delle righe di fluorescenza di silicio e potassio e l'appartenenza agli strati più profondi ne rendono facilmente schermabile il contributo, compromettendone spesso l'identificazione negli spettri.



27. Immagine del retro del frammento con indicati i punti di misura FT-IR in nero.

Su alcuni spettri compare lo zolfo che, ovviamente, risulta più facilmente identificabile quando quest'elemento appartiene alla composizione degli strati pittorici a vista, per esempio nel cinabro (solfuro di mercurio), oppure quando gli strati cromatici sono stati applicati sul rifacimento del supporto, realizzato in gesso (solfato di calcio). Ciononostante diverse interferenze con righe di fluorescenza di altri elementi (righe M di Pb e Bi) in molti casi non rendono certa l'effettiva identificazione dello zolfo, e per tale motivo i suoi ratei di conteggio non sono riportati in tabella. Le dorature delle aureole, sia nel rifacimento che nelle parti originali, non mostrano differenze significative e in nessun caso sono stati rilevati elementi che attestino l'impiego di surrogati o di leghe a bassa caratura. In entrambi i casi, inoltre, gli ingenti quantitativi di piombo sembrerebbero associati agli strati preparatori alla doratura (missione oleoresinosa addensata con ossidi di piombo o strato preparatorio a base di biacca, litargirio o minio).

La bordura del piviale del santo di destra mostra l'impronta di una decorazione perduta, costituita da tre elementi polilobati, che lascia a vista gli strati sottostanti. Al fine di verificare la possibilità che tale decorazione fosse realizzata con una foglia d'oro, sono stati indagati alcuni punti sul bordo, poiché lungo di esso era più probabile rintracciare eventuali residui trattenuti dalle stesure pittoriche perimetrali; i bordi



28. Punti di misura (punti 1-33).

erano infatti profilati da un sottilissimo tratto nero o bianco, a seconda della posizione rispetto alla direzione della luce interna al dipinto. Le due misure eseguite sul contorno nero (punti 23 e 25), in effetti, hanno mostrato la presenza di piccoli quantitativi di oro, non determinati invece in quella eseguita sul bordino bianco (punto 24), dove gli elevati contenuti di piombo indicano che esso è stato realizzato con biacca. Nel bianco della cornea (punto 32), invece, la presenza di piombo è molto bassa.

In origine lo sfondo era, verosimilmente, azzurro e tale colore è stato ripreso anche nella ridipintura; infatti, sia nella parte originale (punti 10 e 14) che in quella rifatta (punti 11-13 e 16) sono stati registrati quantitativi di rame particolarmente elevati,⁵³ accompagnati da una significativa presenza di piombo.

Nello strato giallastro (punto 17) preparatorio alla stesura, ora annerita del rifacimento, è stata riscontrata una presenza non trascurabile di piombo vero-

similmente associata a una stesura a base di biacca.⁵⁴ Risultato analogo a quanto riscontrato sullo sfondo annerito hanno mostrato le decorazioni nere frutto di una ridipintura sul piviale del santo di destra (punti 7-9); in questo caso, tuttavia, il forte incremento nei contenuti di ferro potrebbe essere associato a strati pittorici sottostanti.

Il piviale del santo di destra (punti 20-22) è stato ridipinto integralmente con azzurro di smalto,⁵⁵ anche laddove gli strati preparatori e pittorici sono sopravvissuti; l'aspetto molto scuro e, nelle parti più in luce, grigiastro è verosimilmente dovuto alla perdita di saturazione tipica di questo pigmento.

I forti contenuti di piombo individuati, equivalenti dove la ridipintura ricopre sia il supporto originario che quello rifatto, attestano che lo smalto è stato miscelato a biacca, mentre l'elevata presenza di rame laddove la ridipintura ricopre il supporto originario indica che il colore era stato in origine ottenuto con pigmenti

29. Punti di misura
sul retro
del pannello
(punti 34-38).



a base di quest'elemento, verosimilmente l'azzurrite. Il grigio della stola del santo di sinistra (punti 26 e 29), cromaticamente affine a quello del piviale appena discusso, almeno prima della pulitura del frammento, mostra invece l'assenza degli elementi associati allo smalto, e una presenza ancor più elevata di piombo. Il confronto tra la misura eseguita sul rosso violaceo del manto del santo di sinistra, frutto di una ridipintura (punto 19), e quella eseguita sulla base bianca su cui giace la stessa ridipintura (punto 18) nel rosso ha evidenziato cinabro, pigmenti a base di ferro contenenti piccole impurezze di manganese (terre e/o oca) e minio o biacca. In ogni caso, i valori di mercurio non particolarmente elevati e la tonalità violacea della campitura fanno ipotizzare un uso congiunto di lacche, pigmenti di origine organica non identificabili mediante analisi XRF; si evince inoltre che gran parte della presenza di piombo si concentra nello strato rosso, mentre i contenuti di ferro e

manganese non calano altrettanto drasticamente in corrispondenza del bianco.

Il verde di una decorazione sul bordo del piviale del santo di destra (punto 33) è stato realizzato con pigmenti a base di rame, apparentemente schiariti con biacca e pigmenti a base di ferro.

Gli incarnati hanno mostrato situazioni molto differenziate. Sulle gote dei due santi (punti 30-31) la presenza di piombo è stata rilevata pressoché in tracce e potrebbe essere riconducibile a una contaminazione come in molte altre zone analizzate; sulla mano del santo di sinistra (punti 27-28), invece, i contenuti di piombo sono elevati e denunciano una stesura a secco o una ridipintura. A questo si aggiunge che nel punto 28 sono stati determinati quantitativi minimi di mercurio, rame e manganese, che attestano un'aggiunta seppur minima di cinabro, di pigmenti a base di rame e di una terra contenente impurezze di manganese; tali impurezze, come anche quelle sopra rilevate nei

punti 18 e 19, sono però così basse da non caratterizzare il pigmento come una terra d'ombra.

Passando alla scritta e allo stemma sul retro del pannello (fig. 29): il leone rampante rosso (punto 35) è stato campito con cinabro puro, quello azzurro (punto 34) con smalto miscelato a biacca, presumibilmente per dargli corpo, migliorarne la stendibilità e ottenere una stesura coprente. La presenza di piccoli quantitativi di mercurio potrebbe attestare aggiunte minime di cinabro per ottenere un'intonazione leggermente violacea oppure, più prosaicamente, essere causato dal fatto che il leone azzurro è stato colorato dopo quello rosso, con lo stesso pennello.

L'assenza o la presenza di quantitativi minimi di ferro sul nero brunastro delle lettere della scritta (punti 37-38) indica che essa, nonostante l'apparenza, non è stata realizzata con un inchiostro metallogallico. Lo stesso vale per il nero privo di intonazioni brune degli insetti nello stemma (punto 36) e quello dello schizzo sul bordo superiore del pannello (punto 15). In quest'ultimo salgono leggermente i tenori di piombo, pur restando in livelli molto bassi, il che fa ipotizzare una contaminazione o la presenza di un legante oleoso la cui polimerizzazione è stata accelerata mediante l'aggiunta di quantitativi minimi di ossidi di piombo come siccativi. [Pietro Moiola, Claudio Seccaroni]

Analisi georadar

Nell'ambito di una collaborazione scientifica in corso tra Opificio delle Pietre Dure e Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, in data 7 febbraio 2017, sul dipinto murale staccato attribuito a Giotto sono state eseguite indagini non distruttive tramite analisi georadar, sotto la supervisione del prof. Massimo Coli e l'operatività tecnica del dott. Lorenzo Innocenti, in presenza di Alberto Felici dell'Opificio.

La strumentazione hardware e software è stata messa a disposizione del dipartimento da parte di IDS GeoRadar Srl (Hexagon Group), nell'ambito di un accordo di collaborazione scientifica e tecnica, con il coordinamento del dott. Paolo Papeschi, le elaborazioni sono state effettuate dal dott. Fabio Giannino, entrambi di IDS. I rilievi sono stati effettuati presso il Laboratorio di restauro dell'Opificio alla Fortezza da Basso a Firenze, dove il dipinto era custodito in restauro.

Per l'esecuzione dei rilievi – in funzione dello spessore dell'elemento da indagare (5,5 cm) – è stata usata una antenna a 3GHz, prodotta da IDS, con software di acquisizione K2 Fast Wave di IDS; il rilievo è stato fatto in orizzontale e verticale secondo una griglia centimetrica.

Al fine di proteggerlo, il dipinto è stato poggiato sopra un tavolo su un supporto di gomma, un livello di gomma simile è stato sovrapposto al dipinto e bloccato in modo da evitare pressioni o sfregamenti da parte dell'antenna durante i rilievi. Sopra questo secondo livello di gomma è stato posto il reticolo plastificato di guida all'antenna per le scansioni (fig. 30).

Principio del georadar

Il metodo georadar si basa sulla misura del tempo (*two-way travel time*) che intercorre tra la trasmissione di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza nelle frequenze radar (100MHz-100GHz) nel mezzo di indagine dall'antenna trasmittente e la loro ricezione all'antenna ricevente. L'impulso radar si propaga nel mezzo con velocità dipendente dalle caratteristiche del mezzo stesso, soprattutto la conduttività elettrica e la permittività elettrica relativa, quando incontra una superficie di discontinuità, o materiali con caratteristiche elettromagnetiche diverse, l'onda radar viene in parte riflessa e in parte trasmessa; gli impulsi radar di ritorno all'antenna di ricezione sono convertiti in segnali elettrici e quindi trasmessi all'unità di controllo, amplificati e registrati. I dati registrati ed elaborati vengono restituiti graficamente (radargrammi) per mettere in evidenza i vari oggetti o superfici riflettenti. L'effettiva penetrazione dell'indagine georadar è funzione principalmente della velocità e della frequenza (i.e. lunghezza d'onda) con la quale gli impulsi radar si propagano nel materiale indagato; man mano che l'impulso radar si propaga nel mezzo, il segnale si attenua e le onde riflesse registrate hanno un'ampiezza minore.

Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) sono capaci di risolvere piccoli elementi ma non penetrano molto in materiali compatti, viceversa grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) implicano bassa risoluzione ma alta penetrazione. Pertanto, profondità richiesta dell'indagine e dettaglio voluto sono legati inversamente alla lunghezza d'onda radar utilizzata nell'analisi.

Tutti questi fattori (proprietà elettriche e magnetiche

Punto	Colore	Descrizione	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Au	Hg	As	Pb	Bi	Sr
1	oro	aureola originale		4,3	136	2,1		60				115			416		30
3	oro	aureola originale	1,9		84	3,1		77			3,7	138			388		26
5	oro	aureola originale	3,1		79			54			5,5	156			645		23
2	oro	aureola rifacimento	4,8	9,6	169	2,6		26				52			566		30
4	oro	aureola rifacimento	2,4		91			11				169			274		39
6	oro	aureola rifacimento	1,0		49	2,0		50			3,7	92			474		22
23	nero	contorno impronta	5,7	26	784	5,5		211			3,4	24			50		35
25	nero	contorno impronta	4,6	21	660	6,1		241			3,4	19			75		36
24	bianco	contorno impronta	7,4	17	612	5,0		166			2,7				432		40
32	bianco	cornea	4,4	26	912	4,1		87							3,9		59
36	nero	blatte (retro)	1,0		641								4,4				35
37	nero	lettera C (retro)	1,0		625										7,8		48
38	nero	lettera I (retro)			610			4,0							4,3		45
15	nero	schizzo su bordo	1,5	9,0	631			8,4							18		35
10	nero	sfondo originale		3,6	102	2,0	1,8	74		2,9	856				335		27
14	nero	sfondo originale		3,4	106			43		4,2	934				510		11
11	nero	sfondo rifatto		6,3	138	1,5		12		5,8	1222				282		31
12	nero	sfondo rifatto		7,5	128	1,9		7,9		9,1	1529				178		26
13	nero	sfondo rifatto			182	1,5		14		3,0	755				217		22
16	nero	sfondo rifatto	tr	8,4	194			11		4,4	865				302		28
7	nero	decorazione manto	1,5	5,9	127	1,8		153		6,1	1005				151		26
8	nero	decorazione manto		4,6	124	2,2		136		3,3	680				287		22
9	nero	decorazione colletto			131	1,7		202		2,5	864				345		42
22	nero	manto	7,9	30	74	3,4		90	11	7,2	284			186	891	8,8	17
20	grigio	manto	16	19	86	2,1	1,7	93	86	13	656			177	683	11	16
21	grigio	manto rifacimento	13	41	80	2,5	2,5	88	96	11	17			216	722	8,5	21
26	grigio	stola	3,1	2,5	69	1,4	2,3	78			3,0				694		25
29	grigio	stola	tr		47			62			3,0				943		17
18	bianco	base rosso	6,8	26	991	4,2	2,8	89							23		58
19	rosso	ridipittura	3,6	14	311	3,8	5,4	135					84		142		61
35	rosso	leone rampante (retro)	2,2		60			3,1					978				13
33	verde	pietra	1,7	2,5	17			272		2,6	890				545		24
17	giallo	preparazione rifacimento	tr	7,5	525			4,1			20				200		45
34	azzurro	leone rampante (retro)	21	71	34	2,5		113	133	15			24	380	408	8,6	13
27	incarnato	mano	3,6		44	2,9		102							817		20
28	incarnato	mano	5,6	8,8	235	4,0	3,0	156			7,1		15		259		30
30	incarnato	gota	4,8	25	917	4,4		138							6,1		51
31	incarnato	gota	8,1	26	831	5,5		154							5,9		54

Tabella 4. Intensità delle righe di fluorescenza degli elementi determinati [cps].



30. Predisposizione di protezione e griglia di scansione per le indagini georadar sul dipinto nei laboratori dell'Opificio.

del mezzo da indagare, profondità di indagine, dettaglio richiesto e frequenze appropriate dell'antenna) devono essere tenuti in considerazione al fine di ottenere un risultato quanto più attendibile possibile.

Analisi dei dati

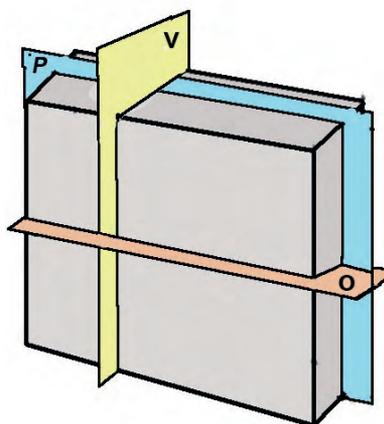
L'elaborazione dell'insieme degli elementi acquisiti ha portato alla creazione di uno spazio virtuale 3D – delle stesse dimensioni del dipinto – pieno di dati così da poter ricavare una tomografia 3D dell'intero corpo del dipinto e suo supporto.

Questo insieme di dati è visualizzabile tramite sezioni tagliate parallelamente alla facciata (P) oppure verticalmente (V) e anche orizzontalmente (O) (fig. 31).

L'elaborazione dei dati è stata svolta presso IDS tramite il programma proprietario denominato GRED 3D HD CAD, da parte di Fabio Giannino con la supervisione di Paolo Papeschi e Massimo Coli.

I risultati dell'elaborazione effettuata sono visualizzati sotto forma di cosiddette *time-slice*: queste ultime sono una rappresentazione (tomografia) in vista planimetrica dell'oggetto investigato, in relazione alla variazione di ampiezza (espressa in Volt) del segnale elettromagnetico emesso dal georadar, all'aumentare della profondità rispetto al piano di acquisizione. Queste *time-slice* sono visualizzate come 'fette' dell'oggetto, a profondità variabile, in termini di ampiezza del segnale rispetto alla profondità.

Nel caso specifico, i dati georadar del dipinto oggetto di analisi sono stati elaborati visualizzando una *time-slice*



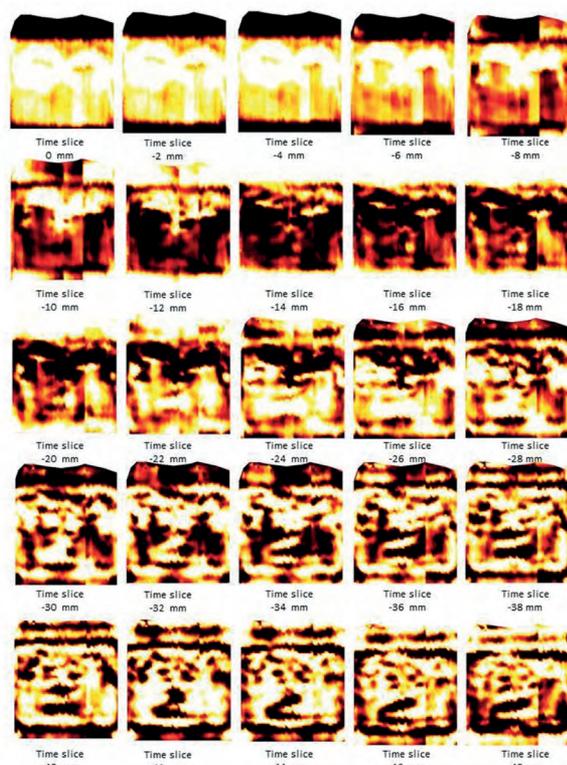
31. Principio tomografico della restituzione 3D dei dati rilevati secondo i tre piani principali: P = parallelo alla faccia, V = verticale, O = orizzontale.

ogni 2 mm. Nell'immagine (fig. 32) si riportano le tomografie del dipinto fino a uno spessore pari a 5 cm. Nelle tomografie relative all'intervallo compreso tra 0 e -10 mm al disotto della superficie sono visibili anomalie di ampiezza (colore giallo chiaro nella parte alta dell'immagine), riconducibili alla riflessione del segnale dovuta alla componente metallica dell'aurea dorata posta sul capo dei due personaggi rappresentati. Nelle *time-slice* comprese tra -32 e -36 mm sono chiaramente visibili due anomalie di ampiezza, come si vede nel particolare evidenziato nell'immagine (fig. 33), ciascuna delle dimensioni di 15 cm circa, che non sono riconducibili ad alcun dettaglio esteriore dell'opera stessa. Tali anomalie possono essere ricondotte a oggetti, estranei al supporto del dipinto, posti a una profondità compresa tra -32 e -36 mm al disotto della superficie del dipinto, presumibilmente riferibili agli oggetti metallici evidenziati anche dall'analisi RX effettuata presso l'Opificio.

Conclusioni

Le indagini georadar eseguite hanno permesso di localizzare in profondità, all'interno del corpo di sostegno del dipinto di Giotto, l'ubicazione degli oggetti metallici evidenziati dall'indagine RX eseguita dall'Opificio, confermando l'utilità delle indagini georadar per la scansione 3D di materiali di supporto a dipinti.

[Massimo Coli, Lorenzo Innocenti, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze; Paolo Papeschi, Fabio Giannino, IDS GeoRadar Srl, Exagon Group, Pisa]

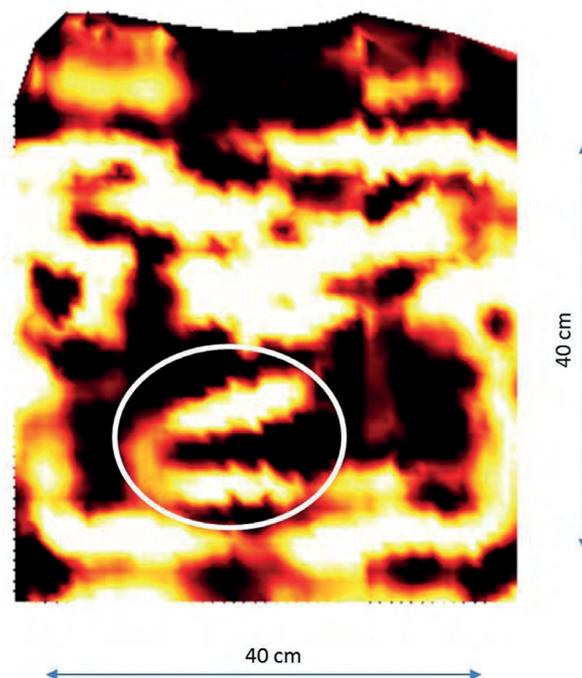


32. *Time-slice* del dipinto.

Analisi a immagine multispettrale VIS-NIR

La diagnostica, intesa come indagine conoscitiva dello stato di conservazione di manufatti di valore storico e artistico, generalmente precede un intervento di restauro. Essa è indirizzata all'analisi delle modificazioni prodotte dal degrado sia della struttura sia dei materiali costitutivi dell'oggetto, allo scopo di identificarne le cause per poi individuare le soluzioni più idonee ad arrestare o contenere gli effetti dei processi di deterioramento.

Le indagini scientifiche alla base dello studio di un'opera sono utilizzate per avere indicazioni sulla storia e sul vissuto dell'opera stessa, ossia per determinare la composizione chimica dei materiali originari, per studiare la tecnica di esecuzione, per verificare la presenza di materiali non originali dovuti a precedenti interventi di restauro. Tali indagini vengono suddivise in tecniche invasive e non invasive, con riferimento all'impatto che possono avere sui manufatti. Per tecniche invasive si intendono quelle tecniche che richiedono il distacco di frammenti, poi esaminati



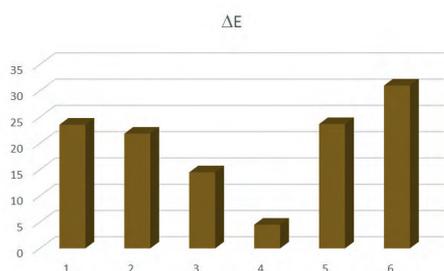
33. *Time-slice* del dipinto a -34mm. Si osservano due anomalie (cerchio bianco) riconducibili a possibili oggetti estranei.

con sistemi di analisi chimiche o fisiche. Tali prelievi non sempre sono rappresentativi dello stato di conservazione dell'intera opera o di come essa sia stata realizzata, dato che tipicamente vengono effettuati in regioni in prossimità del bordo dell'opera stessa e sono di piccole dimensioni per minimizzare il danno arrecato. Non invasive sono, invece, le tecniche che non alterano l'equilibrio termodinamico dell'opera: a questa categoria appartengono le tecniche ottiche, che perciò hanno acquisito un ruolo fondamentale nel campo della conservazione.

Tra queste, le tecniche a immagine – il cui risultato della misura, cioè, mantiene l'aspetto dell'oggetto investigato – non solo facilitano la leggibilità dei risultati, ma forniscono un'informazione esaustiva/completa perché distribuita su tutta la superficie del dipinto. Sono numerose le tecniche ottiche ormai entrate a far parte della diagnostica di routine eseguita sui dipinti, e la riflettografia nel vicino infrarosso (NIR, *Near InfraRed*) è sicuramente tra le più conosciute ed è ormai consolidata per la diagnostica dei dipinti.⁵⁶ Nata come evoluzione della fotografia IR, negli anni sessanta del secolo scorso si afferma grazie al lavoro di



34ab. Immagine RGB: a) prima e b) dopo la pulitura che ha riportato in vista la versione originale dell'affresco. Alcune campiture (vesti) sono state completamente ridipinte rispetto all'originale. I quadratini rappresentano le aree nelle quali è stata valutata la differenza di colore indotta dalla pulitura.



35. Differenze di colore calcolate come valore medio su aree di 20x20 punti (5x5 mm).

Van Asperen De Boer,⁵⁷ considerato il suo inventore, e trova completa diffusione negli anni ottanta grazie all'introduzione sul mercato di sensori a immagine, come le CCD (*Charge-Coupled Device*). Essa – consistente nell'acquisizione di una immagine in un intervallo spettrale che va da 800 nm fino a un limite superiore che dipende dal dispositivo di rivelazione utilizzato –⁵⁸ si è evoluta negli ultimi decenni con la modalità multispettrale che consiste nell'acquisizione di una serie di immagini a diverse lunghezze d'onda. L'estensione dell'intervallo di acquisizione fino al limite superiore dell'intervallo del vicino infrarosso (circa 2500 nm) con l'aggiunta dell'intervallo visibile (VIS) ne ha determinato il successo come tecnica di avanguardia per l'analisi di superfici dipinte.⁵⁹ A oggi l'analisi multispettrale è applicata a livello sperimentale sia per l'elevato costo dei dispositivi multispettrali sia per la complessità dell'elaborazione e dell'interpretazione del set di immagini.

L'analisi multispettrale VIS-NIR, ampiamente applicata all'analisi di dipinti, raramente è stata applicata agli affreschi,⁶⁰ probabilmente a causa della mancanza di uno sfondo di diffusione come lo strato di preparazione a gesso che si trova nella maggior parte dei dipin-

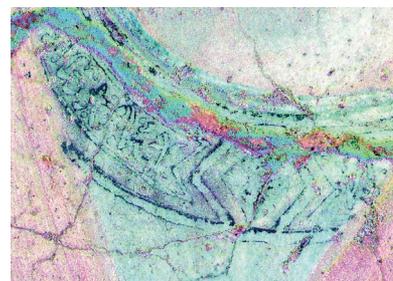
ti sia su tavola sia su tela. L'affresco è, infatti, una forma di pittura murale in cui i pigmenti (in genere di origine minerale) una volta stemperati in acqua vengono dipinti direttamente su intonaco fresco, umido e calcareo che, quando si asciuga, genera un processo chimico che lega insieme il pigmento e l'intonaco stesso.

In questo lavoro vengono presentati alcuni risultati ottenuti elaborando le immagini acquisite mediante il dispositivo multispettrale VIS-NIR a scansione, realizzato dal Gruppo Beni Culturali (GBC) dell'Istituto Nazionale di Ottica (INO-CNR), sul frammento di affresco di Giotto, detto "Frammento Vaticano". L'analisi è stata effettuata sia prima sia dopo l'intervento di restauro, al fine di monitorarne gli effetti e di studiare dettagli presenti nella versione originaria dell'opera, emersa a pulitura ultimata.

Strumento e metodo

L'analisi spettrofotometrica nella regione spettrale del visibile e del vicino infrarosso fornisce un set di immagini a lunghezze d'onda differenti che possono essere analizzate sia come sequenza di immagini con differente contenuto spettrale (analisi multispettrale a immagine) sia come insieme di spettri, uno per ogni pixel delle immagini (spettrofotometria VIS-NIR).⁶¹ In quest'ultimo caso, lo spettro punto per punto dell'opera può essere impiegato per il riconoscimento dei pigmenti utilizzati dall'artista e per eseguirne la mappatura su tutta la superficie. I dati acquisiti nella regione spettrale del visibile, opportunamente combinati per produrre l'immagine a colori, costituiscono una misura spettrofotometrica della superficie dalla quale è possibile ricavare le coordinate colorimetriche in uno qualsiasi degli spazi colore al fine di valutare, per esempio, la variazione di colore prima e dopo la pulitura. Le immagini acquisite nella regione spettra-

36ab. Dettaglio della veste del santo di sinistra: a) immagine RGB; b) risultato dell'analisi in componenti principali.



37ab. Dettaglio della veste del santo di destra: a) immagine RGB; b) risultato dell'analisi in componenti principali.



le del vicino infrarosso contengono informazioni celate dallo strato pittorico e quindi non visibili a occhio nudo quali pentimenti, ritocchi, disegni preparatori, e permettono di studiare le fasi realizzative dell'opera. Dall'elaborazione congiunta delle immagini acquisite nella regione spettrale del VIS e del NIR è poi possibile ottenere l'immagine in falso colore che, pur fornendo un'informazione qualitativa, consente di individuare la presenza di interventi di restauro, di pentimenti o ridipinture.

Lo strumento utilizzato è costituito da un sistema di scansione XY che movimentava simultaneamente, seguendo un andamento bustrofedico, i sistemi di illuminazione e di rivelazione davanti alla superficie dipinta e mutuamente disposti in configurazione $45^\circ/0^\circ$ come suggerito dalla CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) per misure colorimetriche a distanza. La radiazione retro-diffusa dal dipinto è focalizzata da un'ottica a specchi (caratterizzata dall'assenza di aberrazione cromatica, fenomeno consistente su un esteso intervallo spettrale e inevitabilmente presente se si utilizzano obiettivi) sulla terminazione di un fascio di 36 fibre ottiche, disposte in modo da formare un quadrato di 6×6 fibre, e condotta al sistema di rivelazione. Questo è composto da un insieme di rivelatori preceduti, ciascuno, da un filtro interferenziale per la selezione della lunghezza d'onda. Il dispositivo è dotato di un sistema di autofocus costituito da un distanziometro ottico a triangolazione, montato soli-

dalmente all'ottica di raccolta, che si muove secondo la direzione di scansione Z (perpendicolarmente alla superficie pittorica) mantenendo lo scanner alla corretta distanza di lavoro durante tutta l'acquisizione. Il controllo dello strumento avviene via calcolatore mediante un software dedicato. Lo scanner acquisisce contemporaneamente 16 immagini VIS (da 395 a 765 nm) e 16 immagini NIR (da 750 a 2500 nm). La massima area di acquisizione è di 1 m^2 , con una distanza di campionamento di 250 micron (4 punti per mm). Lo strumento fornisce, dunque, un set di immagini perfettamente sovrapponibili, metricamente corrette e prive di aberrazioni: questo permette di confrontare i risultati ottenuti a diverse lunghezze d'onda e di localizzare con precisione i risultati ottenuti, nonché di elaborare le immagini tra di loro senza necessità di applicare alcun *post-processing*.

Risultati

Il set di immagini è stato analizzato considerandole sia separatamente sia in modo congiunto. Per quanto riguarda l'acquisizione nella regione spettrale del visibile, le 16 immagini sono state combinate, dopo opportuna interpolazione, utilizzando gli standard CIE illuminante D65 e osservatore 1931 a 2° , in modo da avere punto per punto dell'opera le coordinate XYZ, dalle quali sono state ricavate le coordinate colorimetriche negli spazi sRGB e Lab. Queste ultime sono state utilizzate per il calcolo della variazione di colore

per effetto della pulitura in alcuni punti selezionati e rappresentativi dei principali pigmenti (vesti, incarnati e sfondo).

Le immagini a colori (RGB) dell'affresco, prima e dopo la pulitura, sono qui riportate (fig. 34ab). Alcune campiture, per esempio quelle delle vesti, sono state completamente ridipinte ricoprendo la pittura originale con tonalità diverse. L'abito talare del santo a sinistra, originariamente di due colori e con la stola liscia (fig. 34b), nella versione finale appare di un unico rosso scuro e con la stola ricamata (fig. 34a). Anche la veste del santo di destra ha completamente cambiato colore tra la versione originale e quella prima della pulitura, ma qui, al contrario, la stola appare con lo stesso ricamo.

Per le 6 aree selezionate e rappresentate da quadratini neri (fig. 34ab), sono state calcolate le coordinate Lab prima e dopo la pulitura e le corrispondenti variazioni di colore, inserite nel grafico a barre qui riportato (fig. 35). Come si vede da quest'ultimo, per tutti i punti analizzati si ha una consistente variazione colorimetrica ($\Delta E \sim 14 - 31$) e per il solo punto 4 (incarnato del santo a destra) $\Delta E \sim 4.5$, ossia una variazione di colore appena percettibile dall'occhio umano.

Data l'evidente differenza tra la versione originale dell'affresco, emersa dopo l'operazione di pulitura, e quella inizialmente visibile, sono stati applicati algoritmi di analisi statistica al fine di evidenziare dettagli non riconoscibili nelle singole immagini acquisite nelle bande spettrali del visibile e dell'infrarosso. A tale scopo è stata applicata l'analisi in componenti principali (PCA, *Principal Component Analysis*), una tecnica statistica multivariata tipicamente impiegata per la semplificazione dei dati. Lo scopo primario di questa tecnica è, infatti, la riduzione di un numero più o meno elevato di variabili (rappresentanti altrettante caratteristiche del fenomeno analizzato) in alcune variabili latenti. Ciò avviene tramite una trasformazione lineare delle variabili che proietta quelle originarie in un nuovo sistema cartesiano nel quale le variabili (autovettori) vengono ordinate in ordine decrescente di varianza: pertanto, la variabile con maggiore varianza viene proiettata sul primo asse, la seconda sul secondo asse e così via. La riduzione della complessità avviene limitandosi ad analizzare le principali (per varianza) tra le nuove variabili. Riducendo la dimensione dello spazio di rappresentazione, si ha una perdita dell'infor-

mazione contenuta nei dati originali, ma la PCA consente di controllare egregiamente il compromesso tra la perdita di informazioni e la semplificazione del problema scegliendo il numero appropriato di autovettori. Nelle immagini sono riportati due esempi di applicazione dell'analisi in componenti principali per evidenziare i dettagli delle vesti del santo di sinistra (fig. 36ab) e di destra (fig. 37ab) che non sono visibili in nessuna delle immagini riflettografiche e neppure in quella visibile, riportata a titolo di esempio nella parte a) di entrambe le figure. Le immagini a colori (figg. 36b e 37b) sono state ottenute combinando in sintesi additiva RGB le componenti principali numero 4, 5 e 7 (la prima e la terza invertite). Esse sono il risultato della sovrapposizione dell'immagine così ottenuta e opportunamente scolorita con quella opportunamente desaturata.

La PCA è stata applicata anche al set di dati acquisito prima dell'intervento di pulitura, ma non ha portato ad alcun risultato. Questo significa che le iscrizioni emerse da questo tipo di analisi fanno parte della costruzione originaria dell'affresco, anche se non visibili a occhio nudo né sono rivelabili con l'analisi riflettografica a diverse lunghezze d'onda.

Conclusioni

L'analisi multispettrale a immagine può essere proficuamente applicata allo studio di superfici affrescate per l'analisi spettrofotometrica della superficie, per il monitoraggio delle variazioni di colore e per lo studio dei dettagli nascosti dell'opera che ne svelano le varie fasi realizzative. Inoltre dall'analisi statistica di tipo multivariato, come l'analisi in componenti principali, è possibile evidenziare dettagli non visibili nelle singole immagini.

[Marco Barucci, Alice Dal Fovo, Raffaella Fontana, Enrico Pampaloni, Marco Raffaelli, Jana Striova]

Note

- 1) L. Venturi, *La "Navicella" di Giotto*, in 'L'Arte', 25, 1922, pp. 49-69.
- 2) V. Martinelli, *Contributo alla conoscenza dell'ultimo Giotto*, in *Giotto e il suo tempo*, atti del congresso internazionale per il VII Centenario di Giotto (Firenze 1967), Roma 1971, pp. 383-399.
- 3) M. Boskovits, *Giotto: un artista poco conosciuto?*, in *Giotto. Bilancio critico di sessant'anni di studi e ricerche*, catalogo della

mostra (Firenze, Galleria dell'Accademia, 5 giugno-30 settembre 2000) a cura di A. Tartuferi, Firenze 2000, p. 75-94.

4) C. Frosinini, in *Giotto e compagni*, catalogo della mostra (Parigi, 18 aprile-15 luglio 2013) a cura di D. Thiébaud, Milano 2013, pp. 139-140.

5) R. Bellucci, C. Frosinini, "Di greco in latino". *Considerazioni sull'underdrawing di Giotto come modello mentale*, in *L'officina di Giotto. Il restauro della Croce di Ognissanti*, a cura di M. Ciatti, Firenze 2010, pp. 167-177.

6) Si veda una casistica ampia in *Fragmenta Picta*, catalogo della mostra (Roma, Castel Sant'Angelo, 15 dicembre 1989-18 febbraio 1990) a cura di M. Andaloro, A. Ghidoli, A. Iacobini, S. Romano, A. Tomei, Roma 1989, pp. 119-177.

7) La trascrizione è già in V. Martinelli, *Contributo* cit., p. 386; sulla cassetta in legno, in cui fu deposto l'affresco, l'iscrizione fu ricopiata, con piccoli errori: il principale riguardante la data, 1616 invece di 1610. Dopo la pubblicazione di Martinelli l'affresco non era stato più né visto né mostrato in pubblico fino al momento della mostra *Giotto, l'Italia*, cfr. A. De Marchi, S. Romano, *Giotto e la basilica di San Pietro: le "imagines collectae"*, in *Giotto, l'Italia*, catalogo della mostra (Milano, Palazzo Reale, 2 settembre 2015-10 gennaio 2016), Milano 2015, pp. 132-139. In quell'occasione tuttavia non era stato possibile aprire la cassetta e quindi verificare l'iscrizione originaria.

8) Su Matteo Caccini, P. Cristofolini, *Caccini, Matteo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. XVI, Roma 1973, pp. 33-35.

9) V. Martinelli, *Contributo* cit., p. 385. L'affresco era stato reso noto da A. Venturi, *Storia dell'arte*, vol. V, Milano 1907, p. 294 e più estensivamente da L. Venturi, *La "Navicella"* cit., p. 69, nota 1; per la bibliografia, si vedano la citata scheda di A. De Marchi, S. Romano, in *Giotto, l'Italia*; nonché S. Romano, *Due teste di santi o apostoli da San Pietro in Vaticano*, in S. Romano, *Apogeo e fine del Medioevo 1288-1431* (Corpus-Atlante della pittura medievale a Roma, vol. VI), Milano 2017, pp. 287-289. In quest'ultima scheda, che ospita anche una relazione di Alberto Felici sul restauro che si stava concludendo nel momento in cui si chiudeva il volume, ho potuto pubblicare, per gentile concessione dei proprietari, la fotografia dell'affresco restaurato, ma, dati i tempi estremamente contratti della pubblicazione rispetto alla conclusione del restauro, non mi è stato possibile approfondire le questioni stilistiche e tecniche aperte dall'intervento.

10) La bibliografia, spero completa, in S. Romano, *Due teste* cit. La catena delle testimonianze è precocissima. Inizia infatti con il *Liber anniversariorum* della basilica del 1362 (Biblioteca Apostolica Vaticana, Archivio Capitolare di San Pietro, H. 56, f. 87r, e H. 57, f. 87r) che menziona *Navicella*, polittico e dipinti della 'tribuna', nonché il ruolo del cardinal Stefaneschi quale committente di Giotto; tutta la successiva erudizione romana si schiera sulla medesima sponda (cito in particolare G. Grimaldi, ms. (rosso) 405, f. 121r-v., Biblioteca Apostolica Vaticana, Sala Cons.; Idem, Biblioteca Apostolica Vaticana, Barb. lat. 2733, ff. 147v-148r, e la relativa edizione moderna, G. Grimaldi, *Descrizione della basilica antica di S. Pietro in Vaticano, Codice Barberiniano latino 2733*, a cura di R. Niggel, Città del Vaticano 1972, p. 184). La storiografia fiorentina inizia da Ghiberti (L. Ghiberti,

commentarii (Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, II, I, 333), introduzione e cura di L. Bartoli, Firenze 1998, p. 84) che cita tutte e tre le opere per Stefaneschi ma non nomina il cardinale; prosegue con Antonio Billi (F. Benedettucci, *Il libro di Antonio Billi*, Roma 1991, p. 39), con l'Anonimo Magliabechiano (A. Ficarra, *L'Anonimo Magliabechiano*, Napoli 1968, p. 53), e con G.B. Gelli (*Vite d'artisti*, a cura di G. Mancini, 'Archivio Storico Italiano', 17, 1896, pp. 32-62: 42); con la tappa successiva siamo a Vasari. La convergenza delle due filiere storiografiche è totale nell'assegnare a Giotto il mosaico della *Navicella*, il polittico oggi in Pinacoteca Vaticana e gli affreschi della 'tribuna', dunque dell'abside: i fiorentini non registrano però il nome e il ruolo di Stefaneschi. Ed è solo Vasari a estendere il catalogo vaticano di Giotto: G. Vasari, *Le vite de' più eccellenti pittori, scultori e architettori*, testo a cura di R. Bettarini, commento di P. Barocchi, Firenze 1966-1984, vol. II, 1967, pp. 95-123: per le attribuzioni vasariane, si veda più avanti in questo saggio.

11) V. Martinelli, *Contributo* cit., p. 386.

12) A. De Marchi, S. Romano, *Giotto e la basilica* cit.; S. Romano, *Due teste* cit.

13) Per il Cavallini vasariano, 'controriformato', cfr. G. Vasari, *Le vite* cit., pp. 185-189; G. Previtali, *La fortuna dei primitivi*, Torino 1964, p. 19.

14) G. Vasari, *Le vite* cit., pp. 103-104, in ambedue le edizioni delle *Vite*.

15) Cfr. nota precedente. Per l'"Angelo di sette braccia" disegnato da Tasselli per Grimaldi, cfr. *l'Album*, Biblioteca Apostolica Vaticana, Archivio Capitolare di San Pietro, A. 64 ter, f. 13.

16) Si veda di recente la sintesi dell'immensa questione storiografica in C. Proverbio, *I cicli affrescati di San Pietro in Vaticano e San Paolo fuori le mura: proposte di lettura*, Turnhout 2016.

17) I. Hösl, *Kardinal Jacobus Stefaneschi*, Berlin 1908, p. 29; V. Martinelli, *Contributo* cit., p. 397 nota 30.

18) S. Romano, *Due teste* cit.; per l'Angelico, i documenti pubblicati da E. Müntz, *Les Arts à la cour des Papes*, Paris 1878, e Idem, *Les arts à la Cour des Papes, nouvelles recherches sur les pontificats de Martin V, d'Eugène IV, de Nicolas V, de Calixte II, de Pie II et de Paul II*, 'Mélanges d'archéologie et d'histoire', 9, 1889, pp. 134-173: 146-148; C. Gilbert, *Fra Angelico's Fresco Cycles in Rome: Their Number and Dates*, 'Zeitschrift für Kunstgeschichte', 38, 1975, pp. 245-265. Fouquet disegnò l'abside nelle sue *Grandes Chroniques de France*, 1460 ca., Paris, Bibliothèque Nationale, ms. fr. 6465, f. 89v.; per le finestre della navata vaticana disegnate per Grimaldi, cfr. *l'Album* A. 64 ter, f. 13, e il Codice Barberiniano latino 2733 in G. Grimaldi, *Descrizione della basilica* cit., p. 142.

19) Simili elegantissimi abiti azzurri nei santi di Giovanni da Milano: si veda per esempio il polittico di Ognissanti, 1360 ca. A. Tartuferi, *Polittico di Ognissanti*, in *Giovanni da Milano. Capolavori del gotico fra Lombardia e Toscana*, catalogo della mostra (Firenze, Galleria dell'Accademia, 10 giugno-2 novembre 2008) a cura di D. Parenti, Firenze 2008, pp. 220-227.

20) V. Giesser, *Jacopo Torriti. L'incoronazione della Vergine e le Storie mariane nell'abside*, in S. Romano, *Apogeo e fine del Medioevo* cit., pp. 116-127, fig. 6.

- 21) G. Bonsanti, *Giotto nella cappella di S. Nicola*, in *Roma anno 1300*, atti della IV settimana di studi di Storia dell'Arte medievale dell'Università di Roma 'La Sapienza', a cura di A.M. Romanini, Roma 1983, pp. 199-205; per la datazione, S. Romano, *Le botteghe di Giotto. Qualche novità sulla cappella di San Nicola nella basilica inferiore di Assisi*, in *Medioevo: l'officina*, atti del convegno a cura di A.C. Quintavalle, Milano 2010, pp. 584-96, con la discussione sulle precedenti proposte.
- 22) G. Vasari, *Le vite cit.*, p. 136.
- 23) Si veda la relazione sul sopralluogo del 17 luglio 2015 presso la sede della Banca Unicredit, in piazza Monte di Pietà 32, Roma, realizzata dallo scrivente per verificare lo stato di conservazione del dipinto, affinché potesse essere esposto nella mostra *Giotto, l'Italia. Da Assisi a Milano*, svoltasi a Milano, dal 2 settembre 2015 al 10 gennaio 2016, catalogo a cura di S. Romano, P. Petrarola, Milano 2015, pp. 130-139.
- 24) È stato possibile ipotizzare lo spessore dell'intonaco pittorico attraverso l'osservazione di una lacuna, situata fra le due aureole, che ne lasciava intravedere le dimensioni.
- 25) Si veda il contributo nel presente articolo.
- 26) Si vedano i dettagli di alcuni volti del ciclo pittorico della *Vita di san Francesco* della basilica superiore di San Francesco ad Assisi, e della Cappella degli Scrovegni di Padova o della Cappella Bardi di Firenze.
- 27) Si vedano i risultati delle indagini FT-IR e XRF nei relativi punti di misura.
- 28) Si vedano i rapporti XRF e FT-IR nei relativi punti di misura.
- 29) Le fotografie tecniche sono state eseguite da Roberto Bellucci e Ottaviano Caruso.
- 30) Il rilievo è stato eseguito da Mattia Mercante, restauratore OPD, Settore Materiali ceramici e plastici, tramite una scansione realizzata in un'unica sessione di ripresa con scanner handheld a luce strutturata della Creaform/Ametek, modello Go!-Scan20, dettaglio massimo 0,2 mm e precisione volumetrica di 0,3 mm/m. Contestualmente alla ripresa della morfologia sono state acquisite dallo scanner le informazioni di colore (texture) a 25 bit fino a 250 dpi.
- 31) Per eseguire lo stacco di un dipinto murale, sovente è necessario percuotere l'intonaco con martelli o mazzuoli per facilitarne il distacco, per questo motivo, sulla superficie del dipinto, non è raro trovare i segni di questa operazione.
- 32) *L'incanto dell'affresco*, a cura di L. Ciancabilla, C. Spadoni, 2 voll., Milano 2014.
- 33) Si vedano i rapporti delle indagini diagnostiche. Comunque si utilizzava colla animale forte, gergalmente chiamata in molti modi diversi, carnicci, pelli, con l'aggiunta di vari additivi per limitarne la contrazione in fase di asciugatura, oppure adesivi più blandi come la colla di coniglio e più raramente di pesce.
- 34) Sul processo di mineralizzazione di alcune sostanze organiche in patine di ossalati si veda *The Oxalate Films: Origin and Significance in the Conservation of Works of Art*, Milano 1989.
- 35) Radiografie eseguite con uno strumento che può raggiungere 80 Kv e 10 mA.
- 36) Si vedano le relative indagini diagnostiche.
- 37) Per la messa a punto delle diverse miscele è stata determinante la collaborazione delle colleghe Francesca Bettini e Caterina Toso, alle quali vanno tutti i miei più sentiti ringraziamenti per la professionalità e la passione con cui hanno condiviso con me questo impegno.
- 38) Potenzialmente l'uso di addensanti in gel di natura polimerica su un supporto poroso, come è l'intonaco pittorico di un dipinto murale, può facilitare la presenza di residui difficilmente removibili; tuttavia la scelta di non rimuovere completamente i fissativi applicati nei precedenti interventi ha consentito di mantenere una forte saturazione delle porosità superficiali, che ne hanno impedito la penetrazione.
- 39) Si ringrazia Alessandro Zanini della ditta Elen che ha fornito l'utilizzo di questa apparecchiatura.
- 40) Per la messa a punto della pulitura dell'oro devo un particolare ringraziamento alla collega Cristina Gigli.
- 41) Prodotto commercializzato dalla ditta Kremer.
- 42) Spettrofotometro infrarosso a trasformata veloce di Fourier THERMO NICOLET "NEXUS™" (software OMNIC™ vers. 7.3).
- 43) Fotomicroscopio Zeiss Axioplan attrezzato con obiettivi da 5x a 50x, avente come sorgenti illuminanti una lampada alogena e una sorgente LED a ultravioletti ($\lambda=360$ nm) Zeiss Colibrì. La documentazione fotografica è eseguita con una fotocamera Canon G6 e software proprietario Canon Zoombrowser.
- 44) Microscopio elettronico a scansione Zeiss EVO 25 in alto vuoto (5·10⁻⁶ KP), sorgente in tungsteno. Tensione di emissione 20 KV, corrente di fascio 200 pA; detector a elettroni secondari (SE), per la morfologia e a elettroni retrodiffusi (QBSD, per la composizione). Le sezioni sono state montate su stub di alluminio con adesivo conduttivo, quindi metallizzate con grafite (circa 200 nm).
- 45) Sonda EDS SSD X-MAX 80 mm² di Oxford Instruments, analisi sia in forma puntuale (spot), sia su aree della sezione e come distribuzione degli elementi, utilizzando il sistema AZTEC® 2.0 di Oxford.
- 46) B. Brunetti, C. Miliani, F. Rosi, B. Doherty, L. Monico, A. Romani, A. Sgamellotti, 'Topics in Current Chemistry' (Z), 2016, 374, p. 10; C. Miliani, F. Rosi, A. Daveri, B.G. Brunetti, 'Applied Physics A-Materials Science & Processing', 2012, 106, pp. 295-307; C. Miliani, F. Rosi, B.G. Brunetti, A. Sgamellotti, 'Accounts of Chemical Research', 2010, 43, pp. 728-738.
- 47) Le due strumentazioni utilizzate sono lo spettrometro portatile Alpha-R e il Jasco NIR. Lo spettrometro portatile Alpha R è dotato di una sorgente SiC globalar e un interferometro "rock solid" e un rivelatore DLaTGS. Le misure non a contatto sono state condotte tramite il modulo di riflessione esterna con un'ottica d'invio e raccolta della luce di 22°/22°. Gli spettri espressi in pseudo-assorbanza - $\log(1/R)$; R = riflettanza - sono stati acquisiti in 186 scansioni da aree di diametro di circa 5mm nel range spettrale 8000-375 cm⁻¹ con una risoluzione spettrale di 4 cm⁻¹. Lo spettrometro Jasco NIR lavora nella regione spettrale del vicino infrarosso (12500-4000 cm⁻¹) e coinvolge quindi i modi vibrazionali di *overtone* e combinazione. È costituito da una lampada alogena come sorgente e un rivelatore InGaAs. La risoluzione spettrale è di 4 cm⁻¹ e quella spaziale di circa 12 mm². Lo

- spettrometro è dotato di un *probe* con fibre ottiche lunghe 2 m.
- 48) F. Rosi, A. Daveri, P. Moretti, B.G. Brunetti, C. Miliani, 'Microchemical Journal', 2016, 124, pp. 898-908.
- 49) Cfr. l'intervento di C. Seccaroni e P. Moiola in questo contributo.
- 50) R. Bellucci, P. Bonanni, B.G. Brunetti *et al.*, *Il restauro del Ritratto di Trivulzio di Antonello da Messina*, 'OPD Restauro', 22, 2010, pp. 15-54.
- 51) Le analisi sono state eseguite con il sistema ELIO della XGLab, con le seguenti caratteristiche: generatore di raggi X con anodo di Rh, tensione e corrente di alimentazione rispettivamente 10-50 kV e 5-200 μ A, rivelatore Si con risoluzione 135 eV a 5.9 keV, distanza campione-rivelatore 1.4 cm, diametro del collimatore fascio X incidente 0.1 cm. La tensione e la corrente di alimentazione prescelte per le misure sono state di 40 kV e 20 μ A, 90 secondi il tempo di misura. Per una dettagliata descrizione della tecnica di misura si veda C. Seccaroni, P. Moiola, *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*, Firenze 2002.
- 52) I valori riportati sono affetti da incertezze di misura che variano generalmente dal 5% al 20% per ratei inferiori a 10 cps, dall'1% al 5% per ratei compresi tra 10 e 100 cps e sono inferiori all'1% per ratei superiori. La dicitura *tr* indica la presenza di un certo elemento in tracce. Con ciò si vuole intendere che l'incertezza associata all'intensità di una riga di fluorescenza è confrontabile con il valore dell'intensità stessa.
- 53) Al rame sembrerebbero inoltre associate impurezze di nichel.
- 54) I piccoli quantitativi di rame ivi determinati sono probabilmente legati a residui della policromia stesa al di sopra di tale strato preparatorio.
- 55) Il pigmento era ottenuto con un vetro potassico colorato con minerali di cobalto, contenenti anche arsenico e impurezze di nichel e/o bismuto.
- 56) F. Fabbri, E. Pampaloni, L. Pezzati, F. De Luca, *La riflettografia infrarossa: una tecnica per l'analisi dei dipinti*, 'Alta Frequenza. Rivista di Elettronica', 13 (2), 5, 2001; R. Bellucci, C. Frosinini, *Indagine riflettografica delle opere di Masaccio e Masolino*, in *Tecnologie per i beni culturali. Prototipi dimostrativi e cantieri pilota*, Regione Toscana Dipartimento dello sviluppo economico, 2002.
- 57) J.R.J. Van Asperen de Boer, *Infrared Reflectography: A Method for the Examination of Paintings*, 'Applied Optics', 7 (9), 1968, pp. 1711-1714.
- 58) D. Bertani, M. Cetica, P. Poggi, G. Puccioni, E. Buzzegoli, D. Kunzelman, S. Cecchi, *A Scanning Device for Infrared Reflectography*, 'Studies in Conservation', 35, 1990, pp. 113-119; E. Walmsley, C. Fletcher, J. Delaney, *Evaluation of System Performance of Near-Infrared Imaging Devices*, 'Studies in Conservation', 37, 1992, pp. 120-131; D. Saunders, R. Billinge, J. Cupitt, N. Atkinson, H. Liang, *A New Camera for High-Resolution Infrared Imaging of Works of Art*, 'Studies in Conservation', 51, 2006, pp. 277-290; L. Consolandi, D. Bertani, *A Prototype for High-Resolution Infrared Reflectography of Paintings*, 'Infrared Physics & Technology', 49 (3), 2007, pp. 239-242; M. Gargano, N. Ludwig, G. Poldi, *A New Methodology for Comparing IR Reflectographic Systems*, 'Infrared Physics & Technology', 49 (3), 2007, pp. 249-253; C.M. Falco, *High Resolution Digital Camera for Infrared Reflectography*, 'Review of Scientific Instruments', 80, 071301.1-9, 2009.
- 59) M. Bacci, *et al.*, *A Study on a Set of Drawings by Parmigianino: Integration of Art-historical Analysis with Imaging Spectroscopy*, 'Journal of Cultural Heritage', 6, 2005, pp. 329-336; C. Acidini, R. Bellucci, C. Frosinini, *New Hypotheses on the Madonna of the Yarnwinder Series*, in *Leonardo da Vinci's Technical Practice: Paintings, Drawings and Influence*, Parigi 2014, pp. 114-125; C. Daffara, R. Fontana, *Multispectral Infrared Reflectography to Differentiate Features in Paintings*, 'Microscopy and Microanalysis', 17, 2011, pp. 691-695; R. Fontana, M. Barucci, E. Pampaloni, J. Striova, L. Pezzati, *From Leonardo to Raffaello: Insights by Vis-IR Reflectography*, 'Acta Artis Academica', *Interpretation of Fine Art's analysis in diverse contexts*, Praga 2014; H. Liang, *Advances in Multispectral and Hyperspectral Imaging for Archaeology and Art Conservation*, 'Applied Physics', A 106, 2012, pp. 309-323; S. Baronti, A. Casini, F. Lotti, S. Porcinai, *Multispectral Imaging System for the Mapping of Pigments in Works of Art by Use of Principal-component Analysis*, 'Applied Optics', 37 (8), 1998, pp. 1299-1309; K. Martinez, J. Cupitt, D. Saunders, R. Pillay, *Ten Years of Art Imaging Research*, 'Proceedings of the Institution of Electrical Engineers', 90 (1), 2002, pp. 28-41; C. Fischer, I. Kakoulli, *Multispectral and Hyperspectral Imaging Technologies in Conservation: Current Research and Potential Applications*, 'Reviews in Conservation', 7, 2006, pp. 3-16; G. Karagiannis, C. Salpistis, G. Sergiadis, I. Chrysosoulakis, *Non-destructive Multispectral Reflectoscopy between 800 and 1900 nm: An Instrument for the Investigation of the Stratigraphy in Paintings*, 'Review of Scientific Instruments', 78 (6), 06511, 2007; C. Daffara, E. Pampaloni, L. Pezzati, M. Barucci, R. Fontana, *Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics*, 'Accounts of Chemical Research', 43, 2010, pp. 847-856; R. Fontana, M. Barucci, P. Carcagnì, C. Daffara, E. Pampaloni, L. Pezzati, *Autofocus Laser System for Multi-NIR Scanning Imaging of Painting Surfaces*, 'Proceedings of SPIE', 8084, 8084051-9, 2011.
- 60) R. Fontana, M. Barucci, P. Carcagnì, C. Daffara, E. Pampaloni, L. Pezzati, *Autofocus Laser System for Multi-NIR Scanning Imaging of Painting Surfaces*, 'Proceedings of SPIE', 8084, 8084051-9, 2011; H. Liang *et al.*, *Remote Spectral Imaging with Simultaneous Extraction of 3D Topography for Historical Wall Paintings*, 'ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing', 95, 2014, pp. 13-22; D. Comelli *et al.*, *Insights into Masolino's Wall Paintings in Castiglione Olona: Advanced Reflectance and Fluorescence Imaging Analysis*, 'Journal of Cultural Heritage', 12, 2011, pp. 11-18; C. Daffara *et al.*, *Wide-band IR imaging in the NIR-MIR-FIR regions for in situ analysis of frescoes*, 'Proceedings of SPIE', 8084, 808406-1, 2011.
- 61) C. Daffara, E. Pampaloni, L. Pezzati, M. Barucci, R. Fontana, *Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics*, 'Accounts of Chemical Research', 43, 2010, pp. 847-856.