

LECTURAS

Bellucci, Roberto *et al.* (2016). "La restauración del Retrato Trivulzio de Antonello da Messina", *TAREA*, 3 (3), pp. 196-257.



LA RESTAURACIÓN DEL RETRATO TRIVULZIO DE ANTONELLO DA MESSINA¹

Roberto Bellucci (*Opificio delle Pietre Dure*)

Pamela Bonanni (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

Brunetto Giovanni Brunetti (*Università di Perugia*)

Silvia Calusi (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

Ciro Castelli (*Opificio delle Pietre Dure*)

Marco Ciatti (*Opificio delle Pietre Dure*)

Brenda Doherty (*Università di Perugia*)

R. Fontana (*Istituto Nazionale di Ottica*)

Cecilia Frosinini (*Opificio delle Pietre Dure*)

Lorenzo Giuntini (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

Novella Grassi (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

Pier Andrea Mandò (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

Mirko Massi (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

M. Mastroianni (*Istituto Nazionale di Ottica*)

Alessandro Migliori (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze e Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze*)

Costanza Miliani (*Università di Perugia*)

¹ Agradecemos la generosa disposición de los autores que han permitido la reproducción de su texto "Il restauro del Ritratto Trivulzio di Antonello da Messina". La traducción estuvo a cargo de Lucio Burucúa.

E. Pampaloni (*Istituto Nazionale di Ottica*)
L. Pezzati (*Istituto Nazionale di Ottica*)
P. Pingi (*Istituto Nazionale di Ottica*)
Francesca Rosi (*Università di Perugia*)
Fabrizio Seracini (*Siemen SpA, Florencia*)
Antonio Sgamelloti (*Università di Perugia*)

INTRODUCCIÓN A LA RESTAURACIÓN Y ALGUNAS CONSIDERACIONES

Marco Ciatti

Seguramente es algo extraordinario, sobre todo para este Oficio que intenta conjugar siempre, incluso so peso de un esfuerzo desmedido, la recolocación de la obra con la presentación de los resultados conseguidos, publicar ahora la intervención llevada a cabo sobre el *Retrato de hombre* de Antonello da Messina, que pertenece a las colecciones del Museo Cívico de Arte Antiguo del Palacio *Madame*, llevada a cabo ya en 2006. Lo que sucedió también porque junto a la importante muestra que se hizo en las Escuderías del Quirinale en Roma, mercedamente se hizo también una jornada de estudio en la que, y por lo tanto en los actos correspondientes, ya se había dado brindado una primera presentación del trabajo cumplido.² A esta le siguió una presentación más amplia de la obra restaurada y de los estudios relacionados, llevada a cabo en 2007 en la Reggia di Venaria, por la que le agradezco al entonces presidente de la Fundación “La Venaria Reale”, Carlo Callieri, a la directora del Museo Cívico del Palacio Madame, Enrica Pagella y a la entonces superintendente Carla Enrica Spantigati. Se esperaba en ese entonces poder publicar las actas de aquella interesante jornada de estudio, lo que fue inexplicablemente imposible. Por lo tanto, se consideró no privar a la revista oficial del OPD del testimonio escrito del trabajo realizado que, más allá de la celebridad y de la calidad de la pintura en cuestión, presenta algunos aspectos particularmente significativos, tanto del punto de vista técnico como del metodológico.

Como primera consideración metodológica, me gustaría destacar el modo en que los momentos de presentación y los estudios a ellos

2 R. Bellucci *et al.* “Anticipazioni sul restauro del Ritratto ignoto di Antonello da Messina”, en *Antonello da Messina*, a cargo de G. Poldi y G. C. F. Villa. Milano, 2006, pp. 58-75.

relacionados corresponden a nuestra concepción de restauración, que no es mera operatividad manual, por más refinada que sea, sino una verdadera instancia de investigación y de estudio de una obra. Esto es absolutamente indispensable para el buen resultado de nuestro trabajo, porque la restauración debe basarse absolutamente sobre el conocimiento profundo de todos los elementos que constituyen una obra de arte. En esa encontramos por un lado los materiales, ensamblados según una técnica artística particular, adaptada por el artista en relación con la propia voluntad expresiva, los que deben estudiarse con los instrumentos de la ciencia; y por el otro, los llamados valores inmateriales, es decir, los contenidos, los significados que nos llegan a través de los materiales, que pueden ser indagados a través de las disciplinas históricas.

El Opificio delle Pietre Dure, como es sabido, tiene que cumplir con tres funciones: la operatividad, la didáctica (activada a través de la Escuela de Alta Formación y las pasantías) y la investigación. Esta última función es, tal vez, la menos conocida y evidente y se subdivide, a su vez, en investigación pura y, sobre todo, aplicada; transformando así cada encargo para la conservación de una obra de arte en un proyecto de investigación. En general puede enfocarse, según los casos, en varios aspectos: en la obra en sí, como momento de profundización del conocimiento, en las causas de la degradación o bien en las técnicas de intervención. En definitiva, nuestro deber no es solo el de obtener la mejor restauración de una obra, como una de las muchas empresas válidas de restauración que existen en Italia, sino de trabajar de manera tal que haya un incremento en nuestros conocimientos, tanto de la obra como de las técnicas y modos de la restauración. De este modo las intervenciones de *routine* se reducen al mínimo y en todos los casos sirven también para una profundización, una mejora de nuestras capacidades y conocimientos. Todo esto, sin embargo, no constituye un patrimonio interno secreto, sino más bien se divulga según nuestras posibilidades a través de nuestras líneas editoriales: la revista *OPD Restauro*, que se edita anualmente desde 1986 y la línea monográfica “Problemas de Conservación y Restauración”, iniciada en 1990 y que ya alcanzó veintiocho volúmenes. Por lo tanto es erróneo considerar el Laboratorio del Opificio delle Pietre Dure, del mismo modo que una empresa que produce restauraciones, inclusive ahora que la conquistada autonomía administrativa y contable nos permite tercerizar el trabajo pago. Por cierto al final de cada año, muchas obras importantes fueron tratadas, de lo que estamos orgullosos porque esto significa que no pontificamos solo sobre la restauración, fuerte de nuestro papel como Instituto Central, sino que realizamos de verdad, concretamente, confrontándonos cotidianamente con sus problemas y que intentamos también aportar una contribución ulterior sosteniendo el desarrollo de la investigación que

innegablemente es necesaria para todo el sector. Este deber le compete, a mi entender, específicamente a una estructura pública, debido a la propia naturaleza de servicio público. Por esto, no obstante sea de todos modos elevada, lo que importa no es la productividad del Laboratorio, sino la calidad de los resultados y de las nuevas adquisiciones, de este modo se justifican también los tiempos más largos que empleamos respecto de los de una empresa normal. Lo importante para nosotros es, finalmente, poder presentar resultados conservativos óptimos y a la vez un incremento del conocimiento, como las que fueron objeto de las presentaciones de la intervención sobre la pintura de Antonello da Torino. Sin querer hacer muy pesadas estas notas introductorias, la ocasión de la presentación de la intervención para la conservación y restauración realizadas en *Retrato de hombre* de Antonello nos permite hacer foco sobre la centralidad de una impostación metodológica que sea capaz de coordinar en una única y coherente visión proyectual la fase de la conservación, a través de los tres instrumentos de la prevención, de la restauración y de la manutención, que deben colaborar de manera sinérgica con el objetivo central y, por lo tanto, a la extensión de la vida de la obra de arte en el tiempo, en las mejores condiciones de legibilidad de los valores expresivos propios. Muchos errores se cometieron cuando se intentó conseguir el objetivo final de la conservación empleando una sola de estas tres armas: sin la manutención, toda intervención, incluso el más logrado, corre el riesgo de ver abreviada la duración de la propia eficacia, así como también es fundamental la relación entre prevención y restauración. Obviamente la conservación preventiva debería emplearse siempre, independientemente de la existencia de cualquier otro tipo de proyección, y sus principios deberían constituir el bagaje más importante de nociones de quienquiera que se ocupe de la gestión del patrimonio histórico-artístico. Además de evitar que los mismos problemas puedan nuevamente agredir una obra restaurada, como es evidente, la relación entre estos dos momentos es central si se comprende que el resultado final debe ser el resultado de la acción combinada de ambos. De este modo es posible anhelar de verdad una reducción de invasión en la intervención conjugando así el intento de acercarse al noble ideal de la llamada “mínima intervención”, con la capacidad de obtener la eficacia necesaria para lograr los fines evidenciados en la fase proyectual. Si hubiésemos tenido que resolver los gravísimos problemas de pérdida de adhesión de la capa pictórica y de desprendimiento de la preparación de las dos grandes tablas del Museo de Santa Croce de Francesco Salviati, el *Descenso de la Cruz* y de Agnolo Bronzino, el *Descenso de Cristo al Limbo* devueltos con una iniciativa realizada en noviembre de 2006, solo con las posibilidades de restauración, es decir, con las técnicas actuales de consolidación y fijación, las dos pinturas debieron

haber sufrido necesariamente un transporte del color. La realización de un sistema de estabilización del comportamiento del soporte de madera, combinado con la mejor intervención posible de readhesión y de consolidación, consintió que las dos palas enormes volvieran a ser expuestas al público. Por lo tanto hoy es teóricamente necesario impostar la restauración como un proyecto integrado por las tres fases de la prevención, restauración, manutención, combinada con un segundo proyecto relacionado con las igualmente importantes fases de deleite y de la valoración de la obra y, por lo tanto, las modalidades de presentación al público y la comunicación de los significados de la obra y de la intervención realizada. Y bien, el caso del *Retrato viril* de Antonello, puede considerarse ejemplar para la aplicación de esta metodología por la presencia conjunta de todos estos momentos. Así se explica el interés por el soporte combinado con la revisión de la modalidad de exposición de su marco histórico, transformado en un contenedor estabilizado, tanto gracias al empeño del sector de restauración de las pinturas, como el de climatología y conservación preventiva.

Todavía algunas palabras acerca de la limpieza realizada, respecto de esta parte, la más evidente en toda intervención, ya que aún es, a menudo, fuente de equívocas y merece algunas aclaraciones. Ante todo es necesario esclarecer cuál es su objetivo. La mejor reflexión italiana sobre la restauración precisó desde hace mucho tiempo ya que no debe intentar, de ningún modo, dejar la pintura como estaba cuando el artista apenas la había hecho. En una célebre carta al conde Algatori, ya en 1756, el pintor y escritor Luigi Crespi advertía al lector de no confiarle las propias pinturas a “aquellos que pretenden con semejantes limpiezas hacer que vuelvan a estar tal cual estaban pintados al principio”, poniéndole así fin al mito de la “vuelta al esplendor original”, desafortunadamente tan querido por una parte consistente también del periodismo actual. Además la importancia de la relación entre obra de arte y el tiempo ya había sido esclarecido en 1681 por Filippo Baldinucci que en su *Vocabolario toscano dell'arte del disegno*, contrastando con una manera desenvuelta de trabajar las pinturas antiguas, señala que la voz “Reflorece” daña “no solo lo bello de la Pintura, sino también lo apreciable de la antigüedad”. El objetivo de la limpieza puede, en cambio, determinarse con el intento de hacer legible correctamente los valores expresivos presentes en la obra, eliminando las fuentes de molestia, pero manteniendo el aspecto de una obra antigua. Todavía es central en toda consideración sobre el argumento, el sistema teórico de Cesare Brandi, que demostró la necesidad de mantener la “pátina” de la pintura por su función positiva tanto en relación con la “instancia estética” como con la histórica. Como aclaró muy bien luego Umberto Baldini en sus reflexiones sobre la teoría de la restauración,

desde el momento en que los varios pigmentos envejecen y se alteran de modo diferente entre ellos, será necesario que nuestra intervención pueda diferenciarse entre las áreas y lo más gradualmente posible para valorar continuamente el equilibrio del conjunto y lograr una limpieza que se basa en una lectura crítica de los materiales y de los valores artísticos intrínsecos. La puesta a punto más reciente de nuevas categorías de materiales amplió nuestras posibilidades de tener instrumentos que nos permiten obrar con la selectividad necesaria de acción, con el control pleno y constante de su eficacia y una inamovilidad de sus efectos. En todo caso, más allá de los instrumentos técnicos empleados, es fundamental el abordaje mental del restaurador, la investigación obra por obra de un método de limpieza adecuado al caso específico rechazando toda aplicación genérica digna de una cadena de montaje, debida a la pereza mental y a la voluntad de contener los costos. Por otra parte, una de las afirmaciones más bellas de Cesare Brandi, formulada a propósito de la difícil limpieza de la *Piedad* de Viterbo de Sebastiano del Piombo, sostenía que: “A nuestro entender, toda obra de arte encierra en sí el secreto y el procedimiento de su restauración, sobre todo para la limpieza”³

LA RESTAURACIÓN DEL RETRATO *TRIVULZIO DE ANTONELLO DA MESSINA*

Roberto Bellucci y Ciro Castelli

Las motivaciones de conservación, en base a las que la dirección del Museo Cívico de Turín solicitó la colaboración del Opificio delle Pietre Dure para proceder con la restauración de la célebre pintura *Retrato Trivulzio de Antonello da Messina*, hacían referencia al estado de conservación explícito en el que la obra se encontraba: por un lado, la fragilidad del soporte y de las capas pictóricas, situación bien notoria y detectable por la presencia de algunas irregularidades en la definición del color, situadas en correspondencia con las fibras de la madera que parecían levantamientos del color, por el otro, la presentación estética de la obra dada o bien por las disminuidas posibilidades de lectura debidas a un proceso de alteración de los materiales de superficie que habían sido aplicados en el transcurso de precedentes y antiguas restauraciones. Antonello representa este personaje misterioso colocándolo detrás de

³ Para el análisis por parte de quien escribe de las fuentes citadas ver M. Ciatti. *Appunti per un manuale di storia e di teoria del restauro. Dispense per gli studenti*, con la colaboración de F. Martusciello. Florencia, 2009.

una pequeña e ilusoria balaustrada, suficiente de todos modos para crear una primera división entre quien observa y el personaje mismo: un diafragma muy sutil que introduce desde el comienzo un efecto de tridimensionalidad, dado también por la presencia de la pequeña cartela sobre la que firma Antonello (1476 *ANTONELLUS MESSANEUS PINXIT*). Un papel cuidadosamente plegado y reabierto luego, en el que se discurría sobre el elemento arquitectónico, con dos sellos de lacre rojo. El hombre representado está puesto ligeramente de soslayo, con la cabeza posteriormente girada hacia la izquierda; lleva un gorro negro y una capa pesada roja, surcada por pliegues verticales, sobre una camisa blanca de la que apenas se ve el dobladillo sobre el cuellito. La figura del hombre emerge a la luz desde un fondo oscuro y es, precisamente, el adentramiento gradual hacia la luz lo que modela las formas; no solamente las facciones anatómicas del rostro –los pómulos, la nariz, la boca– o los dobleces de la ropa, sino sobre todo la solapa del sombrero que, recayéndole sobre los hombros, proyecta su sombra sobre las ropas, enfatizando el escorzo que aparenta profundidad de la figura. De modo muy particularizado, luego Antonello agrega detalles del rostro, como los capilares en lo blanco del ojo, las cejas espesas y desordenadas, las arrugas de la frente con algunos defectos de la piel, el leve sombreado azulino sobre la piel alrededor de la boca que parece haber sido causada por una afeitada reciente, la parte de la sien en sombra con una calvicie avanzada. El proceso de alteración que se había generado en las pinturas aplicadas sobre la obra durante viejas restauraciones y en contacto, también, con la pátina de suciedad que en el transcurso del tiempo se había depositado en la superficie, reducía sustancialmente la transparencia haciendo, por lo tanto, más limitada la comprensión de todos esos efectos que Antonello, con tanto cuidado, buscaba y lograba con el uso gradual de la luz. Por lo general, la opacidad de la pintura se percibe como un filtro opaco entre la imagen y el observador, reducía el efecto de profundidad especial creada por los efectos lumínicos, como por ejemplo en el caso de la anulación, de la indiscriminación entre el gorro del personaje y el fondo oscuro, haciendo del todo inexistente la no obstante relativa ambientación espacial.

Pero describamos la obra de modo más técnico comenzando, precisamente, por el soporte, que se señalaba como uno de los componentes dignos de mayor atención, tanto por la técnica como por la conservación. La obra efectivamente está realizada sobre una sola hoja de madera de álamo, de dimensiones que no son perfectamente regulares, pero que pueden estimarse entre los 29,5 centímetros de ancho y los 37,2 centímetros de altura; el espesor es de más o menos 6-7 milímetros en la parte central, pero al estar afinado el reverso a lo largo de los cuatro lados, el espesor en los bordes se reduce a unos 5 milímetros. La superficie pintada

deja ver un delgado margen de madera a lo largo de todo el perímetro que, junto al afinamiento del reverso del soporte, indica el modo en que la tabla fue inserta originalmente en un marco acanalado, del que queda también, con una contraprueba ulterior, en el frente de la pintura, el levantamiento de los estratos preparatorios que delimitan todo el perímetro del área pintada. Además sobre el reverso son evidentes todavía rastros de cola y restos de madera del marco removido, que demuestran el modo en que la pintura no fue solamente inserta en el canal del marco sino, más bien, fue encolada al marco, no en todo su perímetro sino solo en algunos puntos. Los filamentos del soporte están dispuestos en sentido horizontal y el corte del eje resulta ser tangencial al centro de la tablilla y radial abajo y arriba (figura 1). La elección de utilizar un soporte tan delgado y de disponer los filamentos de manera horizontal es insólita para la tradición italiana, pero se corresponde con los otros retratos realizados por Antonello da Messina (con excepción del de Cefalù), tanto como para configurarse como una posible característica técnica adoptada por el artista, cuya peculiaridad merece ser investigada ulteriormente.⁴ Otra particularidad del Retrato Trivulzio, por ahora no insertable en ninguna casuística por falta de datos de comparación, es la insólita elección del pintor de extender los estratos preparatorios sobre la cara externa de la tabla: es decir, sobre el lado opuesto respecto del centro del árbol. En cambio, en la tradición constructiva se utilizaba para ese fin, por costumbre, la cara interna, de manera de compensar a través de la preparación de estratos de materiales que contribuían a aislar la madera, la curvatura natural que la tabla asumía por envejecimiento.⁵ Otra particularidad remarcable es el encolado de la tablilla dentro del canal, ya que semejante procedimiento no se llevaba a cabo en la preparación de manufacturas en madera dentro de la tradición italiana, pero tampoco en la flamenca que usaba los marcos como contenedores de las tablas pintadas; como podría creerse de Antonello que siempre se lo colocó más cerca de esa cultura, ya que fue quien introdujo técnicas flamencas en la tradición artística italiana.⁶ No podemos saber, en este caso, si en todas las técnicas insólitas elegidas, hasta aquí mencionadas, hubo intencionalidad por parte

4 Sobre la casuística de la utilización de los soportes con fibras horizontales por parte de Antonello, ver la contribución de Claudio Seccaroni, *Antonello, Venezia e la standardizzazione dei supporti per i piccoli formati*, en curso de publicación en "Kermes. La rivista del restauro".

5 Tradicionalmente la práctica constructiva de los soportes de madera preveía que se pintara sobre la cara del haz más interno respecto del corte del árbol para lentificar la deformación natural de la madera (ver C. Castelli. "Tecniche di costruzione dei supporti lignei dipinti", en: *Dipinti su tavola. La tecnica e la conservazione dei supporti*, a cargo de C. Castelli, M. Ciatti, A. Santacesaria. Florencia 1999, p. 63 y p. 97, nota 12).

6 G. Vasari. *Le vite*, a cargo de G. Milanesi. Florencia 1906, vol. II, pp. 563-570.

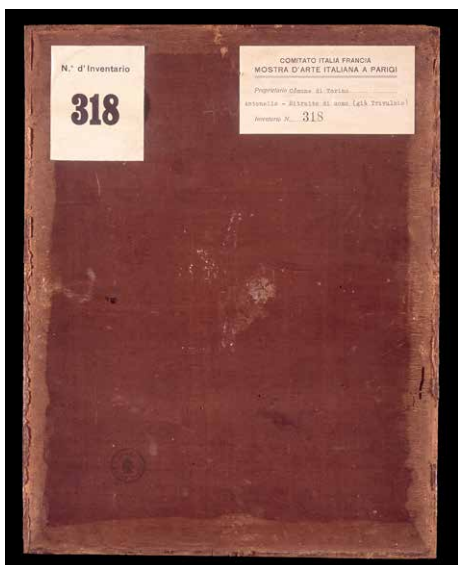


Figura 1. Antonello da Messina, Retrato de hombre llamado "Retrato Trivulzio", Museo Cívico de Arte Antiguo, Palacio Madama, Turín. Reverso antes de la restauración.



Figura 2. Detalle del rostro y de la capa roja con luz rasante.

de Antonello o no. Lo cierto es que las elecciones del material y procedimientos constructivos del Retrato Trivulzio dieron origen en el tiempo a una serie de problemas conservativos, que pueden resumirse esencialmente así: el soporte tiene una curvatura acentuada en sentido vertical; está fuertemente sometido a variaciones termohigrométricas, incluso de poco tamaño por su poca masa (el peso solo es de 394 gramos), y el reverso por haber estado sin protección. A lo ancho de la superficie pintada, en correspondencia con las partes del soporte cuyo tratamiento de las fibras es radial, o sea arriba y abajo, se observan deformaciones de la capa pictórica y del sutil estrato de preparación en yeso y cola (figura 2).

Desde un primer análisis pareció, por lo tanto, que la concatenación de estos problemas estaba estrechamente ligada a la técnica constructiva más que a eventos conservativos. Incluso la deformación de los estratos preparatorios y pictóricos, que había alarmado a los responsables del Museo Cívico de Arte Antiguo Palacio Madame de Turín, parecería remontarse atrás en el tiempo, inclusive a un momento, tal vez, anterior a la completa polimerización de los óleos, o sea cuando los estratos pictóricos poseían todavía cierta plasticidad. Efectivamente no se observa ninguna fractura del color a lo largo de la superficie de las deformaciones, como en cambio hubiera sucedido si el film pictórico se hubiera cristalizado en el momento de producirse los levantamientos. Una confirmación documental nos

ha llegado por el examen de algunas fotografías viejas que se remontan a la primera mitad del siglo pasado,⁷ desde las que es posible identificar la presencia de esas deformaciones con anterioridad al paso de la obra por el mercado anticuario y de su adquisición por parte del Museo. Aunque se tratara solo de un evento que se remontara a un siglo atrás, alcanzaría para considerarlo un proceso no apto pero estabilizado.

Con todo, era necesario profundizar el análisis del soporte en relación con estos problemas de sufrimiento de los estratos pictóricos, para evitar toda hipótesis de interferencia de problemáticas conservativas de otra índole. Era esencial comprender por qué estos fenómenos se encontraban exclusivamente en zonas circunscriptas de la pintura. También era necesario excluir una relación entre estas deformaciones, dispuestas y de forma longitudinal, (como pequeños “filamentos”) y un posible ataque de insectos xilófagos que hubieran excavado galerías que se hubieran correspondido precisamente con estas deformaciones; hecho que podía sugerirle la forma misma de esas deformaciones. El análisis radiográfico tradicional⁸ solo (figura 3) no podía dar una respuesta cierta a la pregunta, debido a su caracterización como proyección del objeto tridimensional entero sobre un único plano, por lo que no concedía tampoco espacio para el análisis del desplazamiento de las galerías, en el espesor del soporte, de las carcomas presentes. Por lo tanto se consideró útil el uso de la Tomografía Axial Computada (TAC), que permite obtener una serie infinita de secciones radiográficas del objeto, en las tres dimensiones del espacio. Gracias a la TAC, entonces, se pudo excluir la hipótesis que sostenía que las galerías dejadas por los insectos xilófagos influyeron en la formación de estas deformaciones, en cuanto a las galerías dejadas por un ataque no particularmente fuerte, en el pasado, no son tantas como los levantamientos y, sobre todo, no están colocadas en el espesor del soporte, en correspondencia con y en proximidad de las deformaciones de los estratos pictóricos. (figuras 4 y 5).

7 Las fotos tomadas para el examen pertenecen al archivo del Museo Cívico de Turín y a la Fototeca de la Villa I Tatti (The Harvard University Center for Italian Renaissance Studies, Florencia).

8 La radiografía X se efectuó en el OPD, por Alfredo Aldrovandi y Ottavio Ciappi.



Figura 3. Radiografía con una sola placa del cuadro entero.



Figura 4. Cuadro entero antes de la restauración, con el agregado de algunas imágenes del corte lateral realizadas con TAC (Tomografía Axial Computarizada).

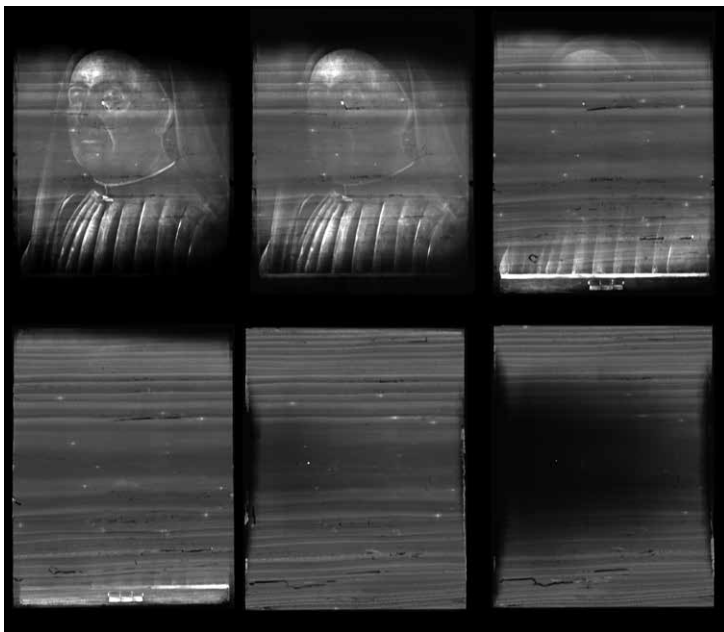


Figura 5. TAC: slice para corte frontal.

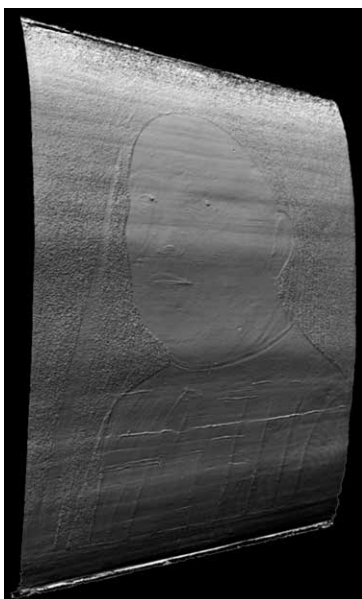


Figura 6. La pintura en una restitución tridimensional.

La investigación ahora tiene como objetivo la profundización de los motivos por los que estos levantamientos de forma tubular se produjeron sobre la capa pictórica. Por lo tanto era necesario estudiar más en profundidad la naturaleza del soporte. Para este fin se hizo un relevamiento tridimensional de la obra con técnica conoscópica láser,⁹ gracias a la que fue posible evaluar y determinar que la deformación del soporte no presenta una curvatura regular en toda su altura. La exactitud del modelo tridimensional obtenido nos indica el modo en que la parte central, o sea la que resulta ser de corte tangencial, esté casi sin curvatura y a la vez cómo el soporte, en cambio, comienza a curvarse en las partes radiales (figura 6). La distribución tan particular de la tendencia del soporte, convexa respecto de la cara pintada, parecería haberse determinado enseguida después de la remoción de la obra de su marco original, que conllevó la pérdida del único sistema de control de los movimientos de la madera con el que contaba la pintura. La curvatura, evidentemente, se formó en la dirección frontal, mientras que los cambios termohigrométricos se manifiestan exclusivamente en el reverso, lo que deja a la otra faz “aislada” gracias a los estratos pictóricos. En cambio, en el momento en el que creemos se formaron las deformaciones “filiformes” de la superficie pictórica, la pintura todavía se encontraba inserta en el marco. En ese momento de la vida de la obra, entonces, debe haberse producido una curvatura contraria a la actual y por ende cóncava, debido a varios factores: al aislamiento aportado por los estratos preparatorios y pictóricos extendidos sobre la cara del eje opuesta, respecto del centro del árbol; al hecho de que muy probablemente el soporte no estaba debidamente estacionado; y por último, al hecho de que todos estos movimientos de ajuste encontraron una oposición que se debía a la constricción causada por el marco en el que había sido inserto el soporte, recordemos, incluso antes de ser dispuesto y pintado (efectivamente la disposición aporta de por sí una cantidad de humedad al soporte). Ciertamente deben provocarse fuerzas contrapuestas y contrarias entre procesos naturales (de curvatura) y procesos inducidos (de constricción), de manera tal de comprimir la superficie pintada. Esta compresión se llevó a cabo, sobre todo, en las partes radiales, de modo tal de localizar precisamente en esas áreas las deformaciones del color y de la preparación.

Haber comprendido el origen de las deformaciones de los estratos preparatorios y pictóricos y el haber comprobado que su existencia no conllevaba riesgo de desprendimientos en lo inmediato, sino como posible consecuencia de los movimientos del soporte que responde de modo

9 La conoscopia láser de la pintura se realizó en el Laboratorio de Metrología Óptica del INO, situado en la sede de la Fortezza da Basso del OPD por Paolo Pingi, Raffaella Fontana.

inmediato y repentino a cambios termohigrométricos, hizo que nuestras elecciones tendieran a limitar el cambio higrométrico de la madera y, al mismo tiempo, ofrecieran una buena base de apoyo sobre la cual colocar un sistema de control mecánico de la pintura. En primer lugar se confeccionó un telar de las mismas dimensiones perimetrales que la pintura y con la misma curvatura del soporte, medida cuando la pintura se había estabilizado en valores de humedad comprendidos entre el 55 y 60%.¹⁰ El telar se cerró en el reverso de manera de crear un espacio de aire controlado por una hoja de "Artsorb". La pintura se aseguró dentro de esta conserva con cuatro puntos de enganche, uno para cada lado, con soportes de teflón contruidos a propósito y puestos en resortes. Durante toda la restauración, comprendidos los períodos en los que se realizaban las investigaciones de diagnóstico, se efectuó el registro de los datos termohigrométricos dentro de la caja. El trazado casi constante de estos registros, asociado a la evaluación de la curvatura de la obra, que se mantuvo dimensionalmente estable durante todo el período, demostraron la validez de semejante disposición, a punto tal de mantenerlo como sistema de montaje y control incluso durante el período de exposición temporaria, al que se envió la pintura luego de su restauración.¹¹ Para la gestión de los datos de humedad y temperatura dentro de la "caja", nos servimos de una tecnología que recién comienza con sus primeras aplicaciones en el campo de la conservación de los bienes culturales.¹²

El mismo concepto de control mecánico de la pintura se utilizó para preparar la recolocación de la obra en su sede institucional, el Museo Cívico de Arte Antiguo Palacio Madame de Turín. En este caso, la pintura fue puesta, por voluntad de la Dirección del Museo, en un marco que había sido hecho en el pasado a propósito para la exposición, en un viejo depósito del museo. Se le hicieron algunas modificaciones para agregarle un vidrio antirreflex y listones de madera que funcionaran de modo tal de imponer una distancia entre el vidrio y la pintura. Los cuatro

10 Para la utilización del telar como estructura de sostén y control en casos particulares de las pinturas sobre tabla, ver C. Castelli. "Metodo di riduzione dei movimenti dei supporti lignei dipinti", *OPD Restauro X*, 1998, pp. 87-94.

11 Antonello da Messina, a cargo de M. Lucco. Roma, Escuderías del *Quirinale*, 18 de marzo-25 de junio de 2006.

12 Se utilizó un DataLog modelo "Meucci" de la *Giorgio Bormac*, con localización GPRS y transmisión de datos vía SMS. Se trata de una centralita que según un programa de impostación registra los datos a través de una sonda dispuesta dentro de la teca. La novedad, extremadamente interesante, consiste en el hecho de que esta centralita envía mensajes SMS cotidianos, señalando además de la lectura instantánea de los datos también el promedio de las últimas 24 horas. Envía además señales de alarma en el caso de superación de los valores impostados, permitiendo entonces una posibilidad excepcional de control a distancia. A cargo del Sector Climatología y Conservación Preventiva del OPD (Roberto Boddì).

listones insertos (uno por cada lado) fueron modelados adecuadamente de acuerdo con las deformaciones de curvatura asumidas por la obra con el correr del tiempo, y del mismo modo para el reverso de la pintura, de manera de contener el soporte dentro de una “guía” ceñida, a su vez, en el espesor del marco y enganchada a este con resortes cilíndricos aptos para garantizar la amortiguación en caso de presiones mecánicas. La regulación de la fuerza ejercitada por los resortes se calculó sobre la base del grado de elasticidad y resistencia comprimida de éstos, con la posibilidad de regulación posterior a través de tornillos que ajustan o aflojan los resortes. El reverso del marco, por último, fue cerrado con un panel de madera de modo de atenuar y lentificar las excursiones termohigrométricas que pueden atacar la pintura, entonces para limitar los efectos del movimiento y, por lo tanto, las repercusiones mecánicas sobre los estratos preparatorios y pictóricos. Tratemos ahora el otro aspecto importante de esta restauración, o sea el que más influye en su lectura y naturalmente en la transmisión de sus contenidos estéticos: el que tiene que ver con la capa pictórica, cuya legibilidad y apreciación estaban disminuidos luego de las alteraciones de las pinturas (o de los barnices). Como sabemos, igual que otras intervenciones hechas a la obra, la limpieza es una operación arriesgada e irreversible porque es la que, en última instancia, modifica sustancialmente la estética de la imagen. Una operación que puede enfrentarse solo a través de un riguroso método de trabajo que permita actuar por fases extremadamente graduales y selectivas y de manera tal de tener siempre bajo control toda la superficie de la obra. Solamente procediendo de este modo creemos que es posible tener, en todo momento, la posibilidad de evaluación crítica y de elección del efecto de la operación. En lo que respecta al Retrato Trivulzio, el resultado de la oxidación de los barnices, en correspondencia con la alteración cromática de los pigmentos que constituyen el color de fondo, impedía una apreciación de los distintos matices del fondo y la legibilidad de la obra se veía comprometida sobre todo en la discriminación entre fondo y retrato (figura 7). La figura del retratado se cortaba abruptamente, de modo que se perdía, por contraste, todo elemento de moldeado y de luz. También la relación cromática entre todas las partes pintadas, carnaciones, toga, gorro, fondo estaba fuertemente condicionada por el tono amarillento que tomaron los barnices alterados.

Entre estas, la más reciente, por su espesor consistente hacía imposible determinar visiblemente (pero también con la ayuda de la lámpara ultravioleta) la existencia de las otras subyacentes. Fue a través de una serie de

mediciones repetidas con micro FTIR,¹³ que comprobamos que en realidad la pintura estaba cubierta por tres estratos superpuestos, identificándolos como: uno más reciente de resina natural; uno más antiguo de cola; y directamente sobre la superficie pictórica un barniz más antiguo aún (no determinado analíticamente), que efectivamente resultó muy fluorescente al UV, ya no más presente de manera homogénea sobre toda la superficie pictórica, tal vez a causa de una intervención antigua de limpieza.



Figura 7. La pintura antes de la restauración.

13 Las medidas hechas con FTIR portátil las realizó Brenda Doherty, F. Rosi, Costanza Miliani del SMAArt & CNR-ISTM c/o Departamento de Química, Universidad de Perugia.

Una prueba de adelgazamiento del barniz superior reveló que la recuperación que puede obtenerse en términos de transparencia era menor a la prevista, dado que el color amarillento y la consecuente alteración de la imagen se debían a la presencia de cola, presente de manera no homogénea y por lo tanto con un efecto óptico manchado. Por este motivo el barniz más externo se removió completamente, dejando a la vista el estrato de cola subyacente. La fase sucesiva fue una remoción selectiva del estrato de cola intentando no removerlo completamente, sino diferenciando la operación según la incidencia cromática que este estrato ejercía sobre los colores subyacentes. Creímos importante también documentar continuamente la operación de limpieza, de manera de permitirle al espectador final no solo un “efecto sorpresa” que, desafortunada y obstinadamente, todavía forma parte de la espectacularización de la restauración, pero sobre todo para crear un banco de datos utilizable como control incluso para el futuro. Efectivamente, sería muy importante que se llegara a difundir cada vez más métodos de control y documentación objetivos de la limpieza y más en general de todas las fases de restauración de una obra. Tradicionalmente, el método principal de control utilizado para las fases de limpieza es la fluorescencia UV (figura 8), método por el que se busca una respuesta de la operación a través de repetidas observaciones directas que se documentan con fotografías, los distintos niveles de adelgazamiento de los materiales subyacentes a la película pictórica. Siempre en su ineludible importancia, sobre todo como método personal de verificación mientras está en obra para el restaurador, la fluorescencia UV permanece ligada a los límites que actualmente le son propios y que esencialmente son los de la imposibilidad de medición del efecto obtenido y de la subjetividad de los parámetros de juicio. En la práctica, el tipo de documentación intermedia que se obtiene a través de la utilización de la fluorescencia UV consiste, efectivamente, en una serie de imágenes para relacionar visiblemente la fase de las operaciones. En cambio es posible utilizar métodos de investigación que hagan mensurable el procedimiento de la limpieza en todas sus fases, como el análisis multiespectral¹⁴ y la interferometría láser (OCT).¹⁵ La técnica de adquisición multiespectral

14 La investigación multiespectral la realizó Claudio Bonifazzi (Departamento de Ciencia Biomédica, Universidad de Ferrara) y Pierluigi Carcagni, Raffaella Fontana, Maria Mastroianni, Marzia Materazzi, Enrico Pampaloni, Afra Romano (Instituto Nacional de Óptica Aplicada (CNR-INO).

15 La Tomografía Óptica Coherente (OCT, Optical Coherence Tomography) es una técnica muy utilizada ya en el campo biomédico para la estratigrafía de tejidos parcialmente transparentes de manera absolutamente no invasiva. El aparato de medición, basado en un interferómetro de Michelson, emplea una luz infrarroja, de longitud de onda igual a 1550 nm. Las medidas fueron efectuadas en el Laboratorio Europeo de Espectrometría No-Lineal (LENS) Polo Científico de la Universidad de Florencia, dirigido por Marco Bellini.

consiste en irradiar la superficie de la obra con radiación en la longitud de onda de lo visible y en la revelación de la radiación difundida dentro de bandas espectrales estrechas.¹⁶



Figura 8. La pintura con fluorescencia UV antes de la restauración.

¹⁶ El dispositivo utilizado es un escáner, una innovación técnica del Instituto Nacional de Óptica de Florencia (INO-CNR), con el que el OPD tiene, desde hace años ya, un acuerdo de investigación). Se trata de un espectrofotómetro para la caracterización espectral que se mueve mediante unas poleas con un sistema vertical de movimiento. Puede escanear un área de 1 m² con una resolución de 16 dots/mm². Tiene un sistema de autofocus que se regula durante el escaneo para permitir el escaneo de superficies irregulares. El espectrofotómetro está compuesto por dos lámparas alógenas de bajo voltaje, colocadas en ángulo de 45° respecto desde la normal hasta la superficie pintada, que irradian un área de casi 5 cm². Las lámparas están alimentadas por un generador de corriente estabilizada, de modo de que las lámparas sean estables en el tiempo. Un sistema óptico desarrollado a propósito capta la radiación retro-difusa del punto analizado en la pintura y la focaliza sobre un extremo de una fibra óptica multimodal, que transporta la luz recogida sobre la superficie sensible de un detector. Esto es una gama fotomultiplicadora caracterizada por 32 elementos, en la que cada elemento está filtrado por un filtro interferencial (10 nm FWHM) y las longitudes de onda centrales del filtro están espaciadas por 10/20 nm, cubriendo de este modo el rango espectral de 380-800 nm.

La adquisición es, por lo tanto, una técnica no destructiva que permite una caracterización espectral y colorimétrica que los estratos pictóricos, los barnices alterados y las pátinas de suciedad que se encuentran encima de dichos estratos, asumieron con el paso del tiempo y, es por esto particularmente apta para la documentación, precisamente, el cambio cromático que se crea durante la limpieza, es decir, la remoción parcial o total de los barnices y de las pátinas de suciedad. La interferometría láser, en cambio, es una investigación que aquí por primera vez, luego de una fase experimental, se aplicó en el campo de los bienes culturales, tomada en préstamo, como suele suceder, del campo de la medicina, en el que sirve ya desde hace un tiempo para el diagnóstico precoz de las enfermedades de la piel¹⁷ y permite el estudio y la mensurabilidad del espesor de los estratos delgados; en particular en este caso se usó para medir la diferencia de los espesores de los tres barnices en el trascurso del adelgazamiento. Estas investigaciones constituyen una base documental objetiva de la situación real, cromática y tridimensional (en relación con las estratificaciones de la superficie), para decirlo de algún modo, de la pintura como se la encuentra luego de cada acción de limpieza que, como hemos visto, se desarrollaron en varias etapas. Los resultados analíticos demuestran, a la vez, la gradualidad del abordaje en el nivel de limpieza a alcanzar.

En consecuencia, se efectuaron las medidas multispectrales en tres momentos: antes de la remoción del barniz superficial; luego de la remoción y, por ende antes de intervenir sobre el estrato de cola; por último, luego de haber adelgazado el estrato. Los espectrogramas dan cuenta de las diferencias cromáticas de los resultados: entre la situación antes de la limpieza y luego de la remoción del primer barniz se nota solamente una sola diferencia en términos de luminosidad (los espectrogramas efectivamente son casi idénticos). Significativamente diferente es, en cambio, el espectro correspondiente a la situación final que además de un aumento de la luminosidad señala también un cambio de posición sobre el sistema de referencia CIELAB:¹⁸ este dato (evidentemente un dato de medida) corresponde a la reducción efectiva de la interferencia cromática aportada por el estrato de cola que corría la percepción óptica en dirección al marrón. La investigación interferométrica (OCT) se efectuó en un área en la que, en el trascurso de la obra de limpieza, eran mesurables las situaciones relativas a los tres niveles diferentes de limpieza: presencia de los

17 Para una bibliografía sobre este tema, ver: T. Arecchi *et al.* "A New Tool for Painting Diagnostics: Optical Coherence Tomography", *Optics and Spectroscopy*, Vol. 101, N° 1, 2006, pp. 23-26; T. Arecchi *et al.* "Optical Coherence Tomography for paintings diagnostics", *Proceedings SPIE* Vol. 5857, pp. 278-282, 2005, con bibliografía precedente.

18 El sistema de referencia colorimétrica CIE-LAB se remonta a 1931 (*The CIE, Commission Internationale de l'Éclairage-Standard Colorimetric Observer*, 1931).

tres estratos de barniz; remoción del barniz de resina natural y, por ende, descubrimiento del estrato de cola: adelgazamiento del estrato de cola con visibilidad parcial del barniz original en ciertos trazos. El resultado muestra, como en una sección estratigráfica, pero de manera no invasiva, la interfaz de los estratos y logra dar cuenta de los espesores relativos a los distintos adelgazamientos de los materiales de la superficie. Como corolario de la explicación, debe decirse que la diferencia entre estas medidas hiperspectrales y una simple espectrofotometría consiste no solamente en el hecho de que el escáner hiperspectral se aplica a áreas y no a puntos, pero que devuelve también una imagen en RGB de la superficie medida (y no solo una medida numérica colorimétrica de los puntos).¹⁹ Esto ofrece mayores posibilidades de gestión de los resultados, en lo inmediato pero también en el tiempo, allí donde se presentara la necesidad de volver a estudiar otras problemáticas de la pintura adquirida. Poseyendo, efectivamente, una imagen entera, cada punto que devuelve los espectrogramas de los colores, tenemos una documentación inalterable durante todo el tiempo de la obra de intervención, en todas las fases de restauración para las que se efectuó la investigación. En la examinación de los resultados de la restauración, ante todo debe subrayarse el modo en que la limpieza permitió recuperar una buena legibilidad de la profundidad de la pintura, del volumen de la imagen y de efectos lumínicos inéditos (figura 9). En particular ahora resultan legibles y distinguibles (distintas) las dos áreas del fondo y del gorro, sobre todo gracias al redescubrimiento de un efecto espléndido de iluminación desde la izquierda de la pintura, que pone en evidencia un golpe de luz sobre el borde izquierdo de la capucha; y al descubrimiento de un pliegue franjado del paño que cae sobre el hombro del personaje. Se trata de zonas en las que, naturalmente, no se deberá jamás buscar una recuperación de la distinción original creada por Antonello da Messina, ya que los pigmentos utilizados, ambos a base de cobre,²⁰ están químicamente alterados de manera irreversible. También para lo que respecta la balastrada se recupera una percepción de una superficie cóncava bajo el listón blanco. El vestido rojo, terminada en la ca, encuentra efectos de relieve de los paños y declives de iluminación. Y la encarnación del personaje recupera efectos de modulación, aplanados

19 Para aplicaciones experimentales de la técnica multiespectral precedentes, ver R. Bellucci. "La Croce di Rosano: valutazione sul restauro e presentazione dei primi risultati", en: *Restauro e ricerche. Dipinti su tela e tavola, Actas de la jornada de estudios*, 17 de diciembre de 2002, a cargo de M. Ciatti y C. Frosinini, Florencia, 2003, pp. 77-81; R. Bellucci y C. Frosinini. "Un modelo per la diagnostica integrata", *Kermes* 53, 2004, pp. 29-38.

20 Las medidas en XRF fueron llevadas a cabo por Pietro Moioli y Claudio Seccaroni (de la unidad de salvaguarda de Bienes Culturales) de la ENEA, La Casaccia, Roma, a quienes se reenvía para el examen profundo que se realizó con el análisis de los datos obtenidos a partir de la investigación.

por la alteración de los barnices subyacentes. Con la limpieza casi finalizada, la percepción de la obra está sustancialmente cambiada respecto de la imagen que la memoria visual dictaba desde hacía un tiempo y la conservación del antiguo barniz directamente sobre el estrato pictórico y la presencia todavía del estrato de cola, atestiguan el hecho, sobre todo, de que los efectos encontrados pertenecen exclusivamente a la técnica original de Antonello da Messina. Una técnica que pudo reconstruirse gracias a los resultados de las investigaciones. La preparación pictórica no difiere de manera sustancial del dibujo lineal del contorno de la figura, sino sobre el hombro izquierdo del personaje, donde parece que el pintor tuvo la intención de llevar adelante el gorro que luego, en cambio, cubrió con el rojo de la toga. El dibujo se reduce a lo esencial, trazos a mano alzada con carbonilla, y es visible solamente en pequeñas partes del rostro, pero parecería haber sido efectuado directamente sobre la preparación y, probablemente, con el personaje delante del pintor (figura 10). Resulta interesante el modo de construcción pictórica de la figura que se articula sobre una preparación blanca de yeso y cola. Gracias a la radiografía y a la TAC es posible ver cómo las primeras elaboraciones pictóricas fueron masas de color, extendidas con pinceladas veloces (figura 11), que tenían el objetivo de darle una base, tanto en la encarnación del rostro como en el rojo de la toga, para las sucesivas terminaciones. Es extraordinario ver cómo Antonello logra con un solo pasaje de color atenuar el contraste de estas masas y hacer fluido el pasaje cromático. Contrariamente a lo que podía parecer a primera vista por el examen de RX, por la neta diferencia de contraste, las pinceladas de base de los pliegues de la toga roja fueron hechas con bermellón y luego las elaboraciones finales también con bermellón y laca roja. Debe señalarse, en esta zona, la ausencia de blanco de plomo como podíamos, en cambio, esperar para crear esos efectos de pasaje de luminosidad gradual. Desde un punto de vista radiográfico, estamos delante de la misma situación encontrada en el retrato de la Galleria Borghese,²¹ en donde, sin embargo, enseguida de los procesos de alteración el bermellón, en algunas partes se alteró convirtiéndose en negro, anulando el efecto de modulación de la toga. En el caso del retrato Trivulzio, en cambio, las condiciones de conservaciones son buenas y se puede, por lo tanto, apreciar, aunque sea en el microscopio, la presencia de laca roja que varía el tono de los efectos lumínicos de pasaje del claro al oscuro. En estas zonas, es decir, en las zonas de máxima profundidad de los pliegues, Antonello utilizó un pigmento con base de cobre para

21 *Incontri*, a cargo de C. D'Orazio, catálogo de la muestra, Roma, Galleria Borghese, 2002.

obtener un efecto de sombreado.²² De este modo, como en las otras zonas de sombreado, la sien del personaje retratado por ejemplo, las modulaciones de pasaje del claro al oscuro se obtuvieron mediante el agregado en el empaste cromático del mismo pigmento de cobre. También las partes anatómicas del rostro que emergen para lograr el efecto de mayor iluminación fueron ejecutadas con un procedimiento pictórico que emplea pinceladas de color con mayor cantidad de blanco de plomo, extremadamente veloces, que ya desde la primera fase pictórica impostan el relieve del moflete derecho, la frente, la punta de la nariz, el labio inferior y la arruga alrededor de la boca, en el moflete izquierdo. Y sucesivamente ablandadas (suavizadas), a veces por la misma luz que, sin embargo, modula los pasajes y ayuda a la formación de esa expresión inolvidable de desafío irónico, que hizo de esta pintura un retrato que forma parte ya de nuestro imaginario colectivo.



Figura 9. Cuadro entero luego de la restauración.

22 La presencia de pigmentos a base de cobre, probablemente azurita o malaquita, mezclados con la laca roja para las sombras de la capa roja, o bien para las partes en sombra de las encarnaciones, corresponde a una determinada voluntad expresiva del pintor al darles a estas tintas una tonalidad oscura y cromática tan particular. Durante el análisis en XRF se investigó particularmente la evidencia de la presencia de cobre.



Figura 10. Reflectografía IR scanner.



Figura 11. Detalle radiográfico del rostro.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTRATOS SUPERFICIALES A TRAVÉS DE LA ESPECTROGRAMASCOPIA EN INFRARROJO MEDIO

C. Miliani, B. Doherty, F. Rosi, B. G. Brunetti y A. Sgamellotti

Dentro de la batería de diagnósticos realizados para la restauración, se llevaron a cabo medidas no invasivas a través de espectrogramascopia en el infrarrojo transformada de Fourier (FTIR), cuyo objetivo era la caracterización de los estratos superficiales de la pintura. Los análisis se hicieron *in situ*, en los laboratorios de restauración del Opificio delle Pietre Dure, utilizando la instrumentación portátil FTIR de fibra óptica, suministrada al laboratorio MOLAB (SMAArt y CNR-ISTM),²³ interviniendo en todo momento durante la fase de definición del método de limpieza de la pintura. Los puntos de medida se indican en la figura 12.

El espectrofotómetro portátil (JASCO VIR 9500) utilizado en el presente trabajo se constituye por una fuente cerámica, un espectrómetro infrarrojo transformado en Fourier y un interferómetro de Michelson. La parte más delicada del instrumento es la sonda con forma de Y, constituida por fibras de calcogenuro que llevan la radiación desde el espectrofotómetro a la muestra y de la muestra al revelador MCT (mercurio cadmio

23 C. Miliani *et al.* "In Situ Noninvasive Study of Artworks: The MOLAB Multitechnique Approach", *Accounts of Chemical Research*, Vol. 43, Nº 6, 2010, pp. 728-738.

telurio). Las fibras permiten investigar una región espectral que va de los 6000 a los 900 cm^{-1} con una resolución espacial, determinada por su diámetro de casi 10 mm^2 . La sonda de las fibras ópticas se mantuvo normal respecto de la superficie de la pintura (geometría $0^\circ/0^\circ$) y a una distancia de pocos milímetros.

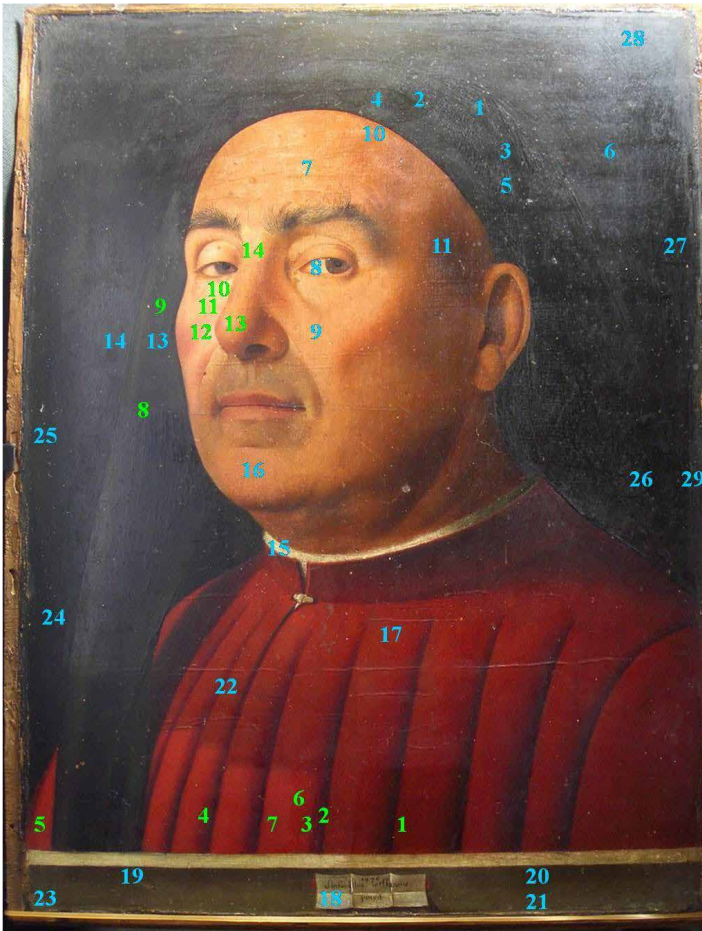


Figura 12. Puntos de medidas FTIR de fibras óptica: en azul, los correspondientes a la primera fase; en verde, los que corresponden a las pruebas de limpieza.

Los espectrogramas relevados durante la primera campaña de medidas con la superficie de la pintura en su estado de conservación, anterior a la restauración, evidencian la presencia de un complejo estrato de superposiciones que absorben gran parte de la radiación infrarroja, sin permitir el análisis del estrato pictórico. En todas las medidas tomadas se observa una señal de carbonilo éster muy expandido (de 1700 a 1750 cm^{-1}), con señales de grupos funcionales diferentes, probablemente tanto de terpenos como de lípidos, ambos oxidados. Las formas de la señal carbonílica cambian ligeramente de punto en punto, demostrando que la distribución de los diferentes componentes no es uniforme, como evidencian también las fotos de fluorescencia inducida por rayos UV.

La forma específica que se deriva de las vibraciones de extensión CH (entre 2830 y 2980 cm^{-1}) y la presencia de las respectivas bandas de combinación (entre 4580 y 4710 cm^{-1})²⁴ sugieren que los estratos superficiales contengan también cera, aunque no se pueda establecer si es natural o sintética. Las señales típicas de la cera están en todos los espectrogramas hechos antes de la limpieza, por lo tanto el material resulta distribuido por toda la superficie de la pintura; es necesario subrayar el hecho de que la técnica no brinda ninguna información sobre una eventual estratificación de los componentes identificados. Muchos de los espectrogramas presentan también una absorción, en razón de 1100 cm^{-1} de manera invertida, por causa del efecto de reflexión especular, esta señal puede remitirse a la presencia de sulfatos²⁵ depositados en la superficie de la atmósfera y luego probablemente retenidos con eficacia por la naturaleza adhesiva de los estratos de barniz. Entre los treinta espectrogramas relevados antes de la limpieza, solamente el Am_7, registrado en la frente del personaje retratado, muestra una señal de 1317 cm^{-1} , que identifica el oxalato de calcio. En la figura 13 se reportan, a modo de ejemplo, algunos espectrogramas tomados en la primera fase analítica. El estudio *in situ* durante la ejecución de las pruebas de limpieza en la parte inferior de la pintura, que corresponden al vestido rojo, permitió analizar la superficie, comparando la situación de prelimpieza con la de limpieza intermedia y limpieza más avanzada. En primer lugar, las medidas revelaron que por debajo del estrato de superposiciones con base de barnices terpénicas, lipídicas y cerosas hay un estrato consistente y uniforme de oxalato de calcio que no es removido por el test de limpieza efectuado con solvente (acetona). La señal del oxalato de calcio se manifiesta con una típica

24 M. Vagnini *et al.* "FT-NIR spectroscopy for non-invasive identification of natural polymers and resins in easel paintings", *Analytical Bioanalytical Chemistry*, Vol. 395, Nº 7, 2009, pp. 2107-2118.

25 F. Rosi *et al.* "On the Use of Overtone and Combination Bands for the Analysis of the CaSO₄-H₂O System by Mid-Infrared Reflection Spectroscopy", *Applied Spectroscopy*, Vol. 64, Nº 8, 2010, pp. 956-963.

banda derivativa de casi 1317 cm^{-1} , que se refiere al modo de extensión anti simétrico (O-C-O), que aparece evidente en las áreas parcialmente limpias, que crece en intensidad a medida que la limpieza está más avanzada (figura 14).

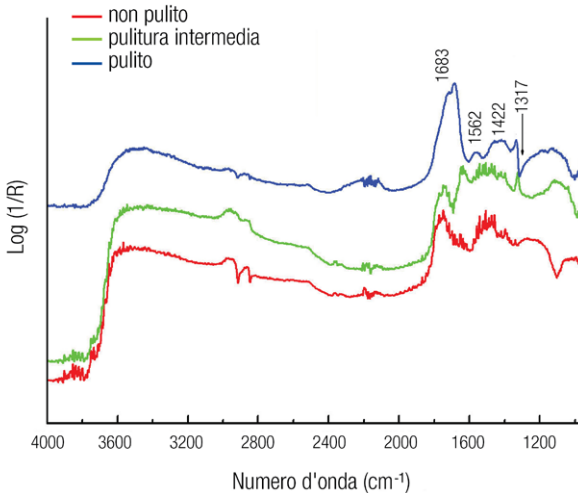


Figura 13. Espectros adquiridos durante la primera campaña de análisis, antes de la intervención de limpieza.

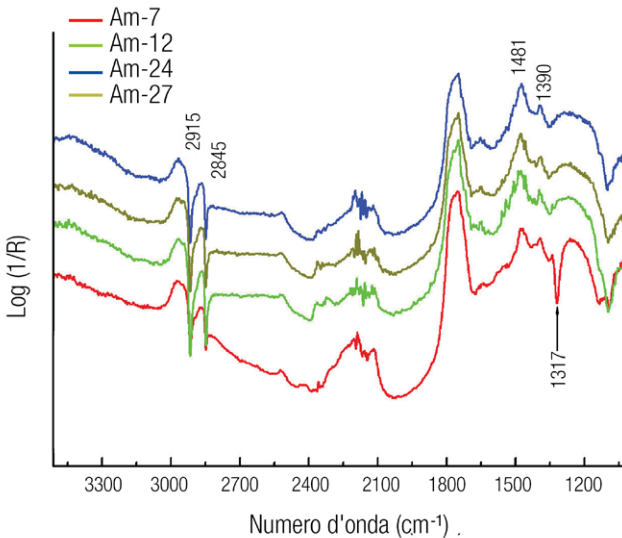


Figura 14. Espectros adquiridos en fase de ejecución de las pruebas de limpieza.

La observación de una pátina con base de oxalato de calcio subyacente a una serie de superposiciones de barnices probablemente no originales, sin embargo peculiar de la pintura de Antonello da Messina, no es un caso aislado. Situaciones similares se encontraron recientemente en pinturas sobre tabla o tela, relacionados con diferentes contextos, tanto históricos como de conservación, como la pintura *Pala Albergotti* de Vasari (conservado en Arezzo en la Iglesia de la Misericordia)²⁶ y el tríptico de Membling *Cristo circundado de ángeles*, conservado en el Koninklijk Museum voor Schone Kunsten de Amberes en Bélgica,²⁷ estudiados por el MOLAB a través de la misma técnica espectroscópica. Posiblemente, se trata de una situación más bien común, que solamente hoy, gracias a la evolución de las capacidades analíticas de las técnicas no invasivas y microdestructivas, es posible que se trate de una situación más bien común, que solo hoy, gracias a la evolución de las capacidades analíticas de las técnicas no invasivas y micro destructivas, puede evidenciarse.²⁸

Es interesante notar que en algunos puntos de limpieza más avanzados, cuando los barnices externos se removieron completamente y el oxalato aparece muy evidente, se observan también señales relativas a una componente proteica ($1522, 1462 \text{ cm}^{-1}$), probablemente relacionada con el tratamiento de acabado que se degradó por oxidación a oxalato de calcio. La misma observación se hizo para las pinturas de Vasari y de Membling, en donde medidas microdestructivas (GC-MS, micro-FTIR, SEMEDS) de la pátina de oxalato evidenciaron la presencia de un componente proteico y de nitratos sulfatos y aluminosilicatos.

Sobre la base de los resultados derivados del estudio de pátinas de oxalato en obras sobre tabla y tela, se está desarrollando en los laboratorios CNR-ISTM y SMAArt de Perugia un experimento cuyo objetivo es el estudio del proceso de oxidación de materiales proteicos inducido por efectos ambientales (luz/temperatura) o catalizadores depositados sobre la superficie pictórica.²⁹

26 A. Daveri *et al.* "Studio dello stato di conservazione e dei materiali costitutivi con tecniche spettroscopiche non invasive". El ingenio y la Mano. Restaurar lo nunca restaurado editado por I. Droandri, Florencia 2009.

27 MOLAB informe de los usuarios: <http://www.eu-artech.org>.

28 K. Kahrim *et al.* "The application of in situ mid-FTIR fibre-optic reflectance spectroscopy and GC-MS analysis to monitor and evaluate painting cleaning", *Spectrochimica Acta Part A - Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 74, Nº 5, 2009, pp. 1182-1188. N. Salvado *et al.* "Identification of reaction compounds in micrometric layers from gothic paintings using combined SR-XRD and SR-FTIR", *Talanta* Vol. 79, 2009, pp. 419-428.

29 Monico L. "Studio del processo di formazione di patine a ossalati su superfici pittoriche", *Tesi Specialistica in Scienze Chimiche*, 2009, Università degli Studi di Perugia.

INVESTIGACIÓN CON TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTADA (TAC) DE LA ESTRUCTURA DE MADERA Y DE LA SUPERFICIE PICTÓRICA

F. Seracini

El examen se hizo utilizando un Siemens Somatom Sensation 4, un tomógrafo *multislice*, espiral de altísima resolución.

Los parámetros de escaneo utilizados para el estudio de la pintura, se eligieron con el objetivo de obtener la máxima resolución posible y la mínima dosis de radiación, en base a la experiencia proveniente de los resultados de los distintos casos de estudio efectuados sobre obras de arte.

Para poder estudiar la estructura y la superficie pictórica en su entereza, se llevó a cabo un escaneo espiral de toda la pintura, utilizando los siguientes parámetros:

- tensión en el tubo de 120 kV;
- corriente de 60 mA;
- tiempo de rotación de 0,5 seg;
- espesor del corte de 0,5 mm;
- algoritmo de reconstrucción Ultra High resolution.

MEDIDAS DE PIXE DIFERENCIADAS Y MEDIDAS PIXE DE ESCANEO PARA EL ANÁLISIS DE LOS ESTRATOS PICTÓRICOS

N. Grassi, P. Bonanni, S. Calusi, L. Giuntini, P. A. Mandò, M. Massi
y A. Migliori

1. INTRODUCCIÓN

Las medidas con la técnica Particle Induced X-Ray Emission (PIXE)³⁰ se realizaron sobre la pintura con el objetivo de caracterizar la composición de los estratos pictóricos y determinar la secuencia, dando a la vez una contribución al estudio de los materiales y de la técnica artística utilizados por el autor.

Como es sabido, en la PIXE el objeto a analizar se usa como blanco de un haz de partículas cargadas y aceleradas (por lo general protones);

30 S. A. E. Johansson, J. L. Campbell y K. G. Malmqvist (eds.). *Particle Induced X-ray Emission (PIXE)*. Chichester, John Wiley & Sons Inc., 1995; P. A. Mandò. *PIXE (Particle-induced X-ray Emission)* in *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. R. A. Meyers (ed.). Chichester, John Wiley & Sons Inc., 2000, pp. 12-708.

las informaciones sobre los elementos presentes se obtienen a través de la revelación de los rayos X, de energía característica, emitidos por los átomos del material enseguida a la interacción con las partículas del haz. La medida es del todo no invasiva y no destructiva:³¹ es posible trabajar con un *set up* de “haz externo”, o bien extraer el haz de protones del vacío a la atmósfera y mantener la pintura en el aire durante la medición; además para el análisis se utilizan haces que inciden a baja intensidad de corriente.

Las investigaciones sobre el *Retrato de desconocido* se efectuaron en el laboratorio LABEC³² del INFN, situado dentro del Polo Científico de la Universidad de Florencia, utilizando dos de las líneas de haz externo del acelerador Tandem: el canal de haz externo colimado por análisis con “puntos” y el microhaz externo para el escaneo de áreas seleccionadas.

Las medidas de “puntos” (con haces de diámetro de casi 0,5 mm) involucraron tanto a la técnica PIXE “standard”, llevada a cabo con una energía de protones sola en distintas áreas de la pintura para una primera caracterización de los distintos fondos, como la PIXE diferencial.³³ Esta última, que consiste en realizar sobre un mismo punto distintas secuencias de medidas PIXE con diferente energía de haz, permite obtener informaciones sobre la disposición en profundidad de los elementos, que pueden por lo tanto atribuirse a los distintos estratos utilizados por el haz (aprovechando el hecho de que partículas de energía distinta penetran en los materiales con profundidades distintas). Este tipo de medidas permitió también recabar, para muchos de los puntos analizados, una estimación del espesor local del estrato pictórico.

Para completar la caracterización del manto rojo, que muestra en los pliegues sombreados evidentes y zonas más oscuras, se realizaron también medidas PIXE a escaneo con un haz de protones de dimensiones inferiores (alrededor de 80 micrones de diámetro), extraído de la línea del micro haz externo. Con la instrumentación a disposición sobre esta línea de investigación es posible realizar el análisis composicional por “imaging” en vez de por “puntos”, llevando a cabo el escaneo de pequeñas áreas (hasta alcanzar distintos mm²) con haces de dimensiones reducidas (hasta alcanzar los 10 micrones). La modalidad de escaneo permite identificar los elementos presentes y al mismo tiempo ver cómo están distribuidos, dentro del área analizada, haciendo más inmediata y confiable la atribución de los distintos elementos a los materiales presentes en la obra.

31 Ž. Šmit (ed.). “Archaeometry with IBA and Related Methods”, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B* Vol. 239, 2005.

32 P. A. Mandò. “INFN-LABEC—Nuclear Techniques for Cultural Heritage and Environmental Applications”, *Nuclear Physics News*, Vol. 19, Nº 1, 2009, p. 5.

33 P.A. Mandò *et al.* “Differential PIXE for investigating the layer structure of paintings”, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B* Vol. 239, 2005, p. 71.

Luego de una breve descripción del *set up* experimental y de las condiciones de medida, se presentarán los resultados más significativos tanto para la PIXE diferencial como para la micro PIXE de escaneo. Para una descripción más detallada del *set up* utilizado y del análisis de los datos se remite a la publicación.³⁴

2. SET UP EXPERIMENTAL Y CONDICIONES DE MEDIDA

Para ambas líneas de haz utilizadas, el sistema de revelación PIXE está constituido por dos reveladores para rayos X que permiten identificar en conjunto todos los elementos, desde del sodio hasta los elementos más pesados (intervalo de energía de los rayos X entre 1 y 35 keV).

Sobre la línea de haz colimado, las medidas se efectuaron con haces de protones de diámetro de 0,5 mm y energía 2,9 MeV (valor sobre la superficie de la pintura) para la PIXE "standard"; para las secuencias de PIXE diferencial, la energía fue cambiada entre 0,8 y 5,4 MeV.

La intensidad de corriente del haz (en el orden de la decena de pA como máximo) y los tiempos breves de medida (alrededor de 200-300 s para la adquisición de un solo espectrograma) permitieron mantener a valores extremadamente bajos la densidad de carga fluida para cada punto analizado, garantizando así condiciones de medida de absoluta seguridad para la obra.

Las medidas sobre la línea de micro haz externo³⁵ fueron tomadas con un haz de protones de diámetro de 80 micrones y una energía de 3 MeV, con intensidad de corriente cercana a los 50 pA. El sistema de escaneo magnético del haz se utilizó para analizar áreas de 2 x 2 mm² sobre la superficie de la pintura (con tiempos de alrededor de 15 minutos para cada área en particular). El escaneo de áreas adyacentes permitió reconstruir la disposición de los elementos sobre áreas más extensas.

3. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Medidas PIXE diferenciadas "de puntos"

Como se ha dicho, las medidas PIXE de energía simple y las secuencias de PIXE diferenciales se realizaron en distintos puntos de la pintura para caracterizar fondos diferentes.

Los resultados más significativos se describen a continuación.

34 N. Grassi. "Differential and scanning-mode external PIXE for the analysis of the painting 'Ritratto Trivulzio' by Antonello da Messina", *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B* Vol. 267, 2009, p. 825.

35 L. Giuntini, M. Massi y S. Calusi. "The external scanning proton microprobe of Florence: a comprehensive description", *Nuclear Instruments & Methods en Physics Research A* Vol. 576, 2007, p. 266.

a) Los espectrogramas x relativos a las medidas en el gorro del hombre revelaron la presencia de un pigmento con base de cobre (probablemente azurita) con cantidades moderadas de plomo asociado a las zonas más claras (blanco de plomo como abrillantador).

b) También los espectrogramas obtenidos en las medidas sobre el fondo oscuro se caracterizan por la presencia casi exclusiva de cobre, en cantidades muy elevadas (también en este caso se lo puede adjudicar al uso de azurita). De las secuencias de PIXE diferenciales fue posible además identificar la presencia de una preparación con base de calcio (con las típicas impurezas de estroncio) por debajo del estrato pictórico con base de cobre. También se identificó calcio en el estrato más superficial, por encima del estrato pictórico (resultado que se condice con la identificación de oxalato de calcio sobre la superficie a través de las medidas FTIR efectuadas sobre la obra).

Estas informaciones pueden obtenerse, por ejemplo, por la secuencia de espectrogramas de PIXE diferenciales, obtenidos con distintas energías de haz incidente sobre un mismo spot: además de la presencia del pico de cobre, se notan también los picos de calcio y estroncio, con intensidades relativas que varían al disminuir la energía del haz. En particular, al disminuir la energía del haz incidente (o bien al disminuir el espesor investigado del haz) el pico del estroncio disminuye hasta desaparecer; también el pico del calcio muestra una fuerte disminución (no obstante permanezca como contribución también en el espectrograma de energía más baja, o bien en el estrato más superficial investigado). Esto sucede en especial en el pasaje entre los espectrogramas de 2,3 MeV y 1,8 MeV: evidentemente con esta última energía los protones ya no son capaces de alcanzar el estrato más profundo, que contiene estroncio y calcio.

El análisis cuantitativo de los espectrogramas (necesario para “pasar” cada espectrograma por el valor de la energía del haz, que influye de manera diferente sobre la producción de los rayos X de los varios elementos) permite confirmar la atribución de los elementos a los varios estratos, como sugerido por el análisis cualitativo (para detalles y resultados del análisis cuantitativo ver nota 35). Sobre la base de cálculos de los espesores investigados por los protones a distintas energías, fue posible también dar una estimación del espesor local del estrato pictórico con base de cobre, del que se obtuvo valores entre los 30 y los 45 micrones, según los puntos.

La presencia de una pequeña cantidad de hierro no es significativa para la caracterización de las áreas analizadas. Efectivamente, ese elemento se identificó en todas las áreas analizadas, siempre en cantidades similares. Por lo tanto, se puede aventurar una hipótesis sobre su presencia como impureza en el aglutinante o en los estratos preparatorios o debido

a un agregado intencional de pequeñas cantidades de tierra en los estratos pictóricos o en las imprimaciones.

c) Las medidas sobre el botón del manto evidenciaron la utilización de un pigmento con base de plomo, extendido sobre un estrato de cinabrio (HgS, identificado a través del mercurio) usado para realizar el manto rojo. Fueron aquí también las medidas PIXE diferenciales las que revelaron, de manera totalmente no invasiva, la presencia de mercurio por debajo del plomo (se reenvía a la publicación de la nota 35 para los datos experimentales).

d) Como se ha anticipado, el cinabrio (identificado a través del mercurio) es el pigmento principal utilizado para el manto rojo. Las medidas PIXE de “puntos” no fueron, sin embargo, suficientes para una caracterización completa de la superficie pictórica en estas áreas.

3.2. Medidas PIXE de escaneo

La necesidad de medidas de escaneo utilizando una mayor resolución espacial para la caracterización de algunas áreas del manto rojo (que presenta pliegues más oscuros y sombreados) la dictó la naturaleza de la superficie en estas zonas, altamente heterogénea y caracterizada por la presencia de manchitas de color rojo más oscuro y dimensión submilimétrica. La utilización de un haz de dimensiones reducidas y de “imaging” permitió relacionar correctamente entre ellos los varios elementos y asociarlos a los detalles visibles sobre la superficie de la pintura, y también permitió la formulación de hipótesis sobre los materiales y sobre las técnicas utilizadas.

Para ilustrar los resultados obtenidos, se remiten los datos relativos a una de las áreas escaneadas en la zona de las manchitas (sombreado). La distribución espacial de los rayos X de aluminio, potasio y mercurio + azufre en comparación con la imagen óptica del área analizada. El pico “mercurio + azufre” de energía de casi 2,2 keV comprende tanto algunos rayos X del mercurio (líneas M) como los de azufre, ambos presentes de todos modos, en este caso, en el mismo pigmento, el cinabrio.

De la comparación de las cuatro imágenes, es evidente cómo aluminio y potasio se relacionan con las manchitas oscuras, mientras, en cambio, los rayos X de mercurio + azufre muestran una presencia más débil en estas áreas. Estas evidencias sugieren que las manchas que contienen aluminio y potasio están presentes en un estrato más superficial, distribuido irregularmente por encima del estrato de cinabrio. Localmente, donde está presente ese estrato superficial, los rayos X provenientes del estrato subyacente de cinabrio sufren efectos de absorción y atenuación.

La comparación entre la distribución de los rayos X de energía diferente característicos del mercurio (rayos X de 2,2 keV y rayos X de 10 keV,

estos últimos provenientes también de profundidades mayores a causa de su energía mayor) brinda la información ulterior de que se trata de manchas muy sutiles. Efectivamente, la distribución de los rayos X de 10 keV (las llamadas líneas L, por lo general menos “molestadas” por la presencia de estratos superficiales) no se modifica por la presencia de las manchas. Esto se nota por ejemplo en la figura 6, en donde, junto a las otras imágenes, se muestra también el mapa de las líneas L del mercurio para una subárea del área mostrada en la figura 5 (en particular, para la porción inferior). Aquí, en lugar de reconocer la distribución de las manchitas, se observan tiras paralelas, que indican un espesor diferente al del estrato pictórico y que evidentemente corresponden a las pinceladas hechas por el artista.

De los resultados obtenidos, parece razonable hacer una hipótesis sobre la presencia de un estrato superficial sutil, de laca roja, identificado a través del aluminio y del potasio, característicos del mordiente utilizado típicamente, la alúmina (el pigmento orgánico no puede ser identificado con la PIXE). Ese estrato no es homogéneo, sino que está compuesto por “minúsculas” manchas (¿tal vez a causa de un efecto de “secado” sucesivo a la preparación?), extendido por encima de un estrato uniforme de cinabrio.

También en la zona de los pliegues aparece evidente de las medidas que el cinabrio está presente en un estrato subyacente respecto del potasio. Aquí el estrato superficial resulta decididamente más espeso, ya que también la distribución de los rayos X más enérgicos del mercurio es afectada. Probablemente para la realización de los pliegues se elaboró un estrato posterior, realizado con un pigmento orgánico (hipótesis sugerida por el hecho de que las medidas PIXE no revelan elementos adicionales).

Un último dato obtenido por el análisis de escaneo respecto de la naturaleza del estrato preparatorio. Las sutiles líneas horizontales evidenciadas en la imagen óptica corresponden, en los mapas de los rayos X, a una concentración más alta de calcio y una más baja de mercurio (en la figura se muestra el mapa de los rayos X del mercurio de energía 10 keV). Evidentemente se trata de “micro fisuras” del estrato pictórico, que dejan entrever el calcio que proviene de la preparación subyacente.

INVESTIGACIONES ÓPTICAS: ANÁLISIS MULTIESPECTRAL VIS, TOMOGRAFÍA ÓPTICA COHERENTE Y RELEVO TRIDIMENSIONAL

Las técnicas ópticas ocupan un lugar importante en el diagnóstico de una obra pictórica gracias a su eficacia y también al hecho de ser no invasivas, requisito de gran importancia dado el particular sector aplicativo. A diferencia de cuanto sucede en el análisis de una obra de arte mediante

técnicas llamadas no destructivas, que en realidad requieren a menudo extracción y consecuentemente la pérdida de muestras de material, la investigación óptica contempla que durante la medición la obra no se toca en ningún modo: la interacción ocurre a través de la radiación electromagnética en la región espectrográfica que varía del infrarrojo cercano (NIR) al ultravioleta (UV), con intensidades tales que no dañan al objeto.

Según las características espectrográficas de la radiación utilizada, las diferentes técnicas permiten varios tipos de análisis: desde observaciones meramente cualitativas a otras capaces de discriminar y, en muchos casos, identificar la naturaleza de los pigmentos utilizados en las pinturas o también mostrar particulares escondidos por el estrato pictórico como el dibujo preparatorio y los "pentimenti". Las informaciones que se obtienen son, por lo tanto, diferentes de las que se puede tener con la simple vista y complementarias entre ellas. Contribuyen a un conocimiento más profundo de la obra: por ejemplo es posible evaluar el estado de conservación de una pintura mediante radiación UV, obtener informaciones sobre su composición y sobre su historia a través de radiaciones visibles (VIS), y por último develar las fases de su realización y posibles intervenciones de restauración anteriores con radiación NIR. Todo esto reviste una importancia extraordinaria tanto para lo que respecta al análisis del estado de conservación de la obra como a los fines para una memoria histórica y un posible archivo.

Son muchas ya las técnicas ópticas que forman parte del diagnóstico de rutina que se lleva a cabo sobre pinturas: entre estas, la reflectografía infrarroja³⁶ y la fluorescencia ultravioleta³⁷ son las más conocidas. A menudo estas técnicas se unen por el hecho de que ambas son técnicas analíticas con imágenes: el resultado de la medida mantiene el aspecto del objeto investigado, ayudando a la legibilidad de los resultados y facilitando la comparación, y de este modo ofrece sorprendentes posibilidades de diagnóstico y de estudio de las obras de arte.

Las técnicas ópticas para el relevamiento tridimensional, tradicionalmente utilizadas para el relevamiento arquitectónico y de estatuas, rara vez fueron aplicadas al diagnóstico de pinturas, aunque recientemente y, sobre todo, como consecuencia de la evolución de la instrumentación de alta resolución basada en la tecnología láser, se creó un gran interés por la medida de la forma de las superficies pictóricas. Las informaciones que se pueden obtener de una medida tal son múltiples y hacen más completo

36 J. R. J. van Asperen de Boer. "Infrared reflectography: a Method for the Examination of Paintings", *Applied Optics*, 7(9), 1968, pp. 1711-1714.

37 A. Aldrovandi y M. Picollo. "Indagini in fluorescenza UV", en: *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. 2001.

el análisis de una pintura. El relevamiento tridimensional de la superficie pictórica puede efectivamente utilizarse para la medir pequeños defectos, para evaluar la importancia de los levantamientos del estrato pictórico, para discriminar entre *craquelure* real o falsa (pintada), para monitorear las deformaciones del soporte, para documentar el estado de conservación del cuadro o las varias intervenciones de restauración, etc. El dato tridimensional a menudo brinda informaciones muy útiles en la interpretación de los resultados de otras investigaciones, imposible de obtener mediante las técnicas tradicionales como la fotografía con luz rasante.

La pintura *Retrato Trivulzio* de Antonello da Messina, objeto de este estudio, se analizó con las siguientes técnicas ópticas. Ya que antes de la restauración la pintura presentaba una cromaticidad alterada por la presencia de una pátina superficial amarillenta que fue removida durante la fase de limpieza, para monitorear las variaciones de color durante las distintas fases del proceso de limpieza, se adquirió una imagen de toda la superficie de la pintura con un dispositivo multiespectral *vis* de escaneo, que permite una caracterización espectrográfica y colorimétrica de la superficie. Se midió antes de comenzar la restauración y enseguida después de cada una de las pruebas de limpieza. El análisis multiespectral fue acompañado tanto con medidas estratigráficas sobre áreas seleccionadas mediante una Tomografía Óptica Coherente (OCT, Optical Coherence Tomography), a fin de monitorear el espesor del barniz durante las distintas fases de la limpieza, como del relevamiento tridimensional de toda la superficie para poner en evidencia las características estructurales y para estudiar algunos detalles considerados representativos del estado de conservación de la pintura.

1. ANÁLISIS MULTIESPECTRAL VIS MEDIANTE UN DISPOSITIVO DE ESCANEO

R. Fontana, M. Mastroianni, E. Pampaloni y L. Pezzati

Recientemente, el *imaging* multiespectral en las regiones espectrográficas de lo visible y del infrarrojo cercano se convirtió en un instrumento importante para el diagnóstico de las superficies pintadas.³⁸ El análisis de una

38 H. Maitre *et al.* "Spectrophotometric image analysis of fine art paintings, Proceedings IS&T and SID Fourth Colour Imaging Conference", 1996, pp. 50-53; y J. E. Farrel *et al.* "Estimating Spectral Reflectances of digital images of Art. Proceedings of International Symposium on Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives", 1999, pp. 58-64; y S. Bruni *et al.* "Field and laboratory spectroscopic methods for the identification of pigments in a northern Italian eleventh century fresco cycle", *Appl. Spec.*, 56(7), 2002, pp. 827-833; y S. Baronti *et al.* "Multispectral imaging system for the mapping of pigments in works of art by use of principal component analysis", *App. Opt.*, 37(8), 1998,

superficie pintada a través de radiación vis, en el intervalo espectrográfico comprendido entre 380 y 780 nm, permite una caracterización del estrato pictórico a través de la medición del factor de refracción espectral: este brinda información sobre los materiales que componen la superficie pintada y puede utilizarse para la documentación digital o para el monitoreo del estado de conservación de la obra de arte.

La técnica multispectral consiste en la adquisición de la radiación extendida de la superficie examinada en bandas espectrográficas estrechas, como máximo una decena de nm. El *output* de la medida es, por lo tanto, un *set* de imágenes monocromáticas, una para cada longitud de onda, que constituye una medida del espectro de reflectancia de la pintura, punto por punto de su superficie. Luego de una calibración oportuna, se obtiene el factor de refracción espectral que es una cantidad independiente tanto de la fuente como del sistema de revelado, pero solo depende de la geometría de iluminación/revelado (o sea el ángulo entre fuente y revelador).

La mayor parte de los dispositivos multispectrales para la adquisición de imágenes utiliza sensores extendidos (Vidicon,³⁹ cámaras CCD)⁴⁰ oportunamente acoplados a sistemas para la selección de la longitud de onda (filtros, sistemas de dispersión, etc.). Estos sistemas son afectados por problemáticas ligadas al área extendida del sensor y a la inevitable presencia de un objetivo y, cuando están presentes, al espesor y a la orientación de los filtros utilizados para la selección de la longitud de onda. En estos casos son necesarias, entonces, correcciones para la distorsión geométrica y de perspectiva y la calibración para la iluminación no uniforme. En el caso de las pinturas de grandes dimensiones, ya que

pp. 1299-1309; y D. Saunders y J. Cupitt. "Image processing at the National Gallery: The VASARI project", *National Gallery Technical Bulletin* 14, 1993, pp. 72-85; y P. Cotte y M. Dupouy. "Crisatel High Resolution Multispectral System. Proceedings of PICS03 The Digital Photography Conference", 6, 2003, pp. 161-165; y D. Anglos, C. Balas y C. Fotakis. "Laser spectroscopic and optical imaging techniques in chemical and structural diagnostic of painted artwork", *American laboratory*, 31, 1999, pp. 60-67; y C. Balas. "An imaging method and apparatus for the non destructive analysis of paintings and monuments. International Patent App. PCT/GRO0/00039"; y G. Antonioli *et al.* "Spectrophotometric scanner for imaging of paintings and other work of art. CGIV2004-Proceedings of Second European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision", 2004, pp. 219-224.

39 Farrel J. E *et al.* "Estimating Spectral Reflectances of digital images of Art", en: *Proceedings of International Symposium on Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives*, 1999, pp. 58-64.

40 Bruni S, Cariati F, Consolandi, L. Galli A, Guglielmi V, Ludwig N, Milazzo M. Field and laboratory spectroscopic methods for the identification of pigments in a northern Italian eleventh century fresco cycle. *Appl. Spec.* 2002; 56(7): pp. 827-833; y Baronti S., Casini A., Lotti F., Porcinai S., Multispectral imaging system for the mapping of pigments in works of art by use of principal component analysis. *App. Opt.* 1998; 37(8): 1299-1309; y D. Saunders y J. Cupitt. "Image processing at the National Gallery: The VASARI project", *National Gallery Technical Bulletin* 14, 1993, pp. 72-85.

la resolución espacial está ligada al área de medida, es necesario adquirir numerosas subimágenes que luego deben recomponerse en mosaico.

Para superar todos los problemas que conlleva la utilización de sensores extendidos, el análisis multiespectral se efectuó mediante un dispositivo de escaneo basado en un sensor solo. El instrumento debe considerarse como una evolución del escáner para reflectografía IR-color desarrollado en el Instituto Nacional de Óptica en los años 1990⁴¹ que adquiere el reflectograma en la región NIR desde 900 a 1700 nm y tres imágenes R, G, B que permiten producir la imagen a color de la pintura. El nuevo dispositivo multiespectral adquiere 32 imágenes de las que 31 están en la región del VIS desde 380 a 780 nm y una en el NIR a 800 nm. Un *upgrade* posterior del instrumento consiste en el agregado de 14 bandas en el NIR hasta 2300 nm.⁴²

1.1. ESCÁNER MULTIESPECTRAL VIS

El dispositivo empleado para el análisis multiespectral de la pintura está constituido por un sistema de traslaciones xy que movilizan el sistema de iluminación y también la óptica de recolección, minimizando de este modo el calentamiento de la pintura. Que se configuran a 45°/0° de acuerdo con las sugerencias de la CIE para medidas de reflectancia⁴³ y compatible con el sistema de escaneo. La óptica de recolección focaliza la radiación difundida por la pintura sobre la terminación de una fibra multimodal (diámetro del núcleo 200 micrones, diámetro del revestimiento 250 micrones) que conduce esa radiación al sistema de revelado. La óptica es un sistema catóptrico constituido por dos espejos esféricos asomados que, por lo tanto, no presenta aberración cromática, defecto del que son afectados, de diferente manera, todos los sistemas ópticos que emplean lentes. Efectivamente, cuando la radiación policromática atraviesa un medio óptico (objetivo, lente, vidrio, etc.), los componentes con longitud de onda más corta (azul) se refractan mayoritariamente, creando una dispersión de la imagen sobre el plano focal. Esto se traduce en la formación de imágenes que en los bordes presentan alones de color (rojos por una parte y azul por la otra, en cuanto el rojo y el azul están en los dos extremos del espectro de la luz visible y son, por lo tanto, los colores por los que la diferencia de refracción es mayor). La óptica de recolección trabaja a una

41 R. Fontana *et al.* "New high resolution IR-colour reflectography scanner for painting diagnosis. SPIE", *Optical Metrology for Arts and Multimedia* 5146, 2003, pp. 108-115.

42 C. Daffara *et al.* "Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: an advanced tool for art diagnostics", *Accounts of Chemical Research*, Vol. 43, Nº 6, 2010, pp. 847-856.

43 CIE. "Radiometric and photometric characteristics of materials and their measurement2, *CIE Technical Report* 38, Wien, 1977.

distancia de puesta en foco de casi 12 cm y tiene aumento unitario; por lo tanto el área de medida tiene las mismas dimensiones que la sección de la fibra.

El sistema de iluminación se compone de dos lámparas alógenas estabilizadas con corriente que iluminan un disco de casi 5 cm de diámetro respecto de la distancia de trabajo de la óptica. Estas están abastecidas con un retro reflector dicróico que transmite al revés la mayor parte de la radiación IR de manera tal de minimizar el calentamiento del cuadro. La divergencia del haz es de 10° , respecto de las específicas CIE para la geometría de medida elegida.

El sistema de revelado es un fotomultiplicador multiánodo cuyos 32 elementos son acompañados por filtros interferenciales de longitud 10 nm y están espaciados entre 10 o 20 nm, de manera tal de cubrir todo el intervalo espectral VIS 380-780 nm.

El sistema está controlado con un calculador y los parámetros de medida pueden impostarse dependiendo de las características cromáticas de la superficie. El instrumento permite medir un área máxima de 1 m^2 con una distancia de muestreo de 250 micrones en ambas direcciones del escaneo y devuelve un set de imágenes monocromáticas de 12 bit.

1.2. MEDIDA DE REFLECTANCIA DE LA SUPERFICIE

Se efectuó la adquisición multispectral en 32 bandas (380 nm-800 nm) para una caracterización espectral y colorimétrica de la superficie que permitió el monitoreo de la variación de los espectros de reflectancia y de las coordenadas de color en las varias fases del proceso de limpieza. Esa medición, realizada sobre toda la pintura, precedió el inicio de la restauración (T_0 , octubre de 2005) y se repitió en dos momentos diferentes (T_1 , noviembre de 2005, y T_2 , febrero de 2006).

Para monitorear la variación del color de la encarnación durante las varias fases de la limpieza, el factor de refracción espectral se colocó sobre una misma zona del rostro en los tres momentos de medición. Se seleccionaron dos regiones de interés, (ROI, Region Of Interest), sobre el rostro del hombre: una sobre el mofoleto derecho (ROI1) y la otra sobre la frente (ROI2). Para ambas áreas y para cada uno de los tiempos de medición se colocó el factor de refracción espectral medio. Como podemos ver en los gráficos, antes de la limpieza (tiempo T_0) los espectros relativos a las dos ROI tienen sustancialmente el mismo dibujo (curva fucsia). Luego de la remoción de la pátina (tiempo T_2), que produce un efecto de achatamiento del color, se diferencian (curva amarilla) dejando en evidencia el contraste cromático original de las dos regiones. Se efectuaron además tres pruebas de limpieza, correspondientes a distintas fases en diferentes tiempos, de manera tal de poder

analizarlas también mediante el aparato OCT (ver párr. 2) que necesitó que se corriera la pintura, y también ellas fueron caracterizadas espectralmente. Esas pruebas de limpieza se efectuaron en la parte inferior de la pintura, en la zona que comprende el vestido del hombre. Ya que esa región es extensa y de color más bien uniforme, se identificaron 3 áreas que a simple vista parecerían iguales (zonas rojizas entre los pliegues) y sobre cada una de ellas se calculó el factor de reflexión espectral medio que efectivamente resultó ser el mismo, dentro de los límites del error experimental. Sobre estas áreas con características espectrales homogéneas se realizó la intervención de limpieza que definió las tres zonas de interés (ROI1, ROI2, ROI3), sobre las que se hizo también la medición mediante OCT. Se ve las tres áreas antes y después de las pruebas de limpieza junto a una imagen de fluorescencia de la misma área que pone en evidencia las zonas tratadas.

Para cada área de medición se calculó nuevamente el factor de refracción espectral medio. Existen relaciones entre los espectros correspondientes a las tres áreas, calculados longitud de onda por longitud de onda. El cálculo de la relación entre factores de refracción espectral correspondientes a diferentes niveles de limpieza sirve para hacer una evaluación cuantitativa del proceso de limpieza, típicamente encargado a la experiencia, al sentido crítico y a la percepción visual del restaurador. El efecto de la limpieza correspondiente a la ROI2, descrito por la relación ROI2/ROI1, es el de remarcar, en su mayoría, las longitudes de onda desde 380 nm a 590 nm respecto del resto. El paso sucesivo, descrito por la relación ROI3/ROI2, describe un funcionamiento casi complementario al precedente porque exalta las longitudes de onda comprendidas entre 590 nm y 800 nm. El efecto total de la limpieza, descrito por la relación ROI3/ROI1, resulta en un incremento de la luminancia en todas las longitudes de onda, reconducibles a la interpretación del barniz como una pátina superficial de refracción constante. El resultado puede considerarse como una confirmación científica de una percepción subjetiva que hace que el restaurador considere terminado el proceso de limpieza cuando el color aparece ante sus ojos más brillante respecto de antes de la limpieza. Además de esto, la caracterización espectral de una pintura permite monitorear los efectos del trabajo del restaurador durante todo el proceso de limpieza, y da una evaluación cuantitativa y, por ende, objetiva.

Para hacer una evaluación objetiva de las diferencias de color para las dos áreas limpias (ROI2, ROI3) se calculó el ΔE en el espacio colorimétrico CIELab respecto del espectro correspondiente a la ROI1. El cálculo colorimétrico se efectuó siguiendo las normas CIE y escogiendo como iluminador standard el iluminador D65 y como observador standard el observador 1931. De acuerdo con las convenciones acerca de las diferencias cromáticas, a una diferencia de color visible se le asoció un ΔE entre

3 y 6, mientras a una diferencia consistente de color se le asoció un ΔE entre 3 y 12. Para las dos áreas en cuestión los valores de ΔE resultan ser $\Delta E_{ROI2/ROI1} = 5,13$ y $\Delta E_{ROI3/ROI1} = 9,01$, valor numérico que confirma la percepción visual: el restaurador se considera satisfecho cuando el color del objeto cambió considerablemente.

2. MONITOREO DEL PROCESO DE LIMPIEZA MEDIANTE TOMOGRAFÍA ÓPTICA COHERENTE (OCT)

R. Fontana, M. Mastroianni y M. Materazzi

La limpieza de las superficies pintadas es una de las fases más importantes y controvertidas del proceso de restauración de una obra de arte: se trata, efectivamente, de un proceso irreversible que comporta una serie de operaciones que anulan la estética y determinan la pérdida de informaciones originales de la pintura. Por esto, cualquier tipo de análisis que permita adquirir un conocimiento profundo de los materiales que componen la obra es deseable. La limpieza de una pintura prevé la remoción, total o parcial, del estrato superficial de barniz que reviste la capa pictórica y que, debido a la exposición a radiación ultravioleta y a agentes atmosféricos, por la deposición de polvillo y en general por las alteraciones físico-químicas sufridas en el tiempo, tiende a hacerse una pátina opaca y amarillenta que altera la percepción de la policromía de la pintura, a menudo comprometiendo la integridad. La posibilidad de monitorear el espesor del estrato de barniz de una pintura durante y después de la restauración representa un método eficaz de control de su buen logro.

Hasta hoy, la única técnica que permite la medida del espesor del barniz es la estratigrafía que comporta, sin embargo, una microextracción que por lo general se hace en zonas marginales, en los bordes de la pintura, que no siempre son representativas de la situación entera de la pintura. Se consideró posible aplicar la OCT para evaluar de manera no invasiva el espesor del barniz, ya que los materiales pictóricos antiguos tienen una gran semejanza de composición con algunos tejidos humanos, siendo de origen orgánico y principalmente compuestos de agua. La utilización de esta técnica, efectivamente, está muy consolidada en el ámbito biomédico para medidas *in vivo*, garantizando la seguridad absoluta de la muestra.⁴⁴ Por este motivo, restauradores y conservadores pueden obtener ventajas por las posibilidades que ofrecen las técnicas de análisis como la OCT.

44 D. Huang *et al.* "Optical coherence tomography", *Science* Vol. 254, 1991, p. 1178; y S. A. Boppart *et al.* "High-resolution optical coherence tomography-guided laser ablation of surgical tissue", *Journal of Surgical Research* Vol. 82, 1999, p. 275; y X. Clivaz *et al.* "High-resolution reflectometry in biological tissues", *Optics Letters* Vol. 17, 1992, pp. 1-4.

2.1. APARATO INSTRUMENTAL PARA TOMOGRAFÍA ÓPTICA COHERENTE

El aparato para OCT se basa en un interferómetro de tipo Michelson de fibra óptica: la radiación emanada por la fuente está separada por un divisor de haz de fibra óptica y enviada a los brazos del interferómetro (brazo de referencia y brazo de muestra). Las reflexiones provenientes del brazo de referencia, sobre el que está montado un espejo, y las generadas dentro de la muestra se vuelven a combinar por el divisor de haz y enviadas al revelador. La interferencia tiene lugar cuando las longitudes de los caminos ópticos difieren por menos de la longitud de coherencia de la radiación y la posición del espejo sobre el brazo de referencia determina así la profundidad de la superficie, dentro de la muestra, de la que proviene la radiación difusa. Efectuando el escaneo a lo largo del brazo de referencia, se introduce una dilación a lo largo del camino óptico de la luz y se establece el intervalo de penetración del escaneo, adquiriendo las reflexiones en profundidad de la muestra. El escaneo del haz en dirección transversal (a lo largo de la muestra) se efectúa moviendo el lente que focaliza el haz que sale del brazo de la muestra y determina la línea de interés de la que se obtendrá el perfil estratigráfico.

El prototipo realizado utiliza una fuente de banda ancha constituida por dos diodos súper luminiscentes acoplados, con una longitud de onda central igual a 1550 nm, FWHM de casi 100 nm, potencia máxima de 5 mW y salida acoplada en fibra. Para evitar que la radiación retro reflejada por los dos brazos del interferómetro vuelva sobre la fuente, se puso un aislante óptico con la función de transmitir la radiación en una dirección y bloquearla en la otra. El acoplador óptico tiene una configuración de trabajo 2×2 con una relación de acoplamiento de 50/50. La radiación que sale de una derivación del acoplador está focalizada sobre la muestra a través de una lente focal de 25 mm y la compensación sobre la derivación de referencia se obtiene mediante una lente idéntica y un filtro neutro. El revelador es un fotodiodo InGaAs a alta velocidad, cuya área sensible tiene un diámetro igual a 100 μm , con sensibilidad espectral entre 800 nm y 1700 nm y un pico en la zona de interés y corriente de oscuridad <1 nA. El sistema de escaneo de los dos brazos del interferómetro está compuesto por dos traslaciones motorizadas que permiten un escaneo continuo máxima de casi 100 mm de alta resolución (0,1 μm).

La señal de interferencia se visualiza en un osciloscopio en interface con la computadora, programada oportunamente para obtener el valor medio (obteniendo, de este modo, una señal oscilante alrededor del cero), calcular el valor absoluto y la involución mediante *smoothing* sobre puntos adyacentes, que corresponden a eliminar las oscilaciones veloces,

o sea aplicar un filtro bajo. Las imágenes bidimensionales en la escala del gris de la refracción de la muestra analizada se obtienen con nuevos escaneos axiales adyacentes. El sistema no es fácilmente transportable, dada la extrema criticidad de la alineación de los componentes ópticos, y para esto fue necesario mover el cuadro.

2.2. MEDIDA DEL ESPESOR DEL BARNIZ

Por lo dicho en el párrafo 1.2, la medida a través de Tomografía Óptica Coherente se efectuó sobre tres ROI, correspondiente a los distintos niveles de limpieza experimentados por el restaurador en la zona del vestido, para cuantificar el adelgazamiento del barniz en las distintas fases. La señal interferométrica se adquirió en estas 3 zonas para corrimientos laterales del brazo muestra de casi 3 mm a intervalos de 5 μm (distancia entre los puntos medidos a lo largo de un perfil), para un escaneo transversal completo de casi 1 cm. La profundidad del escaneo, determinada por el desplazamiento del brazo de referencia, se impuso 350 μm de manera tal de comprender el espesor entero del barniz. La señal adquirida se elaboró por medio de un software desarrollado especialmente, que da una matriz que representa el mapa de la refracción en función de la profundidad, para cada posición lateral de la muestra. La imagen de la señal interferométrica muestra el modo en que el espesor del barniz varía al variar las tres pruebas de limpieza: pasa de un valor de casi 70 micrones en la ROI1 a un valor de casi 25-30 micrones en la ROI3.

3. RELEVO TRIDIMENSIONAL MEDIANTE MICROPROFILOMETRÍA CONOSCÓPICA DE ESCaneo

R. Fontana, E. Pampaloni y P. Pingi

El conocimiento de la forma de una obra de arte representa un elemento importante para su estudio y para su conservación. La caracterización de la forma constituye, efectivamente, una contribución valiosísima al análisis del estado de conservación de una obra, a su archivo y documentación, al control de su evolución en el tiempo y a la proyección y realización de eventuales intervenciones de restauración.

La elevada resolución y el cuidado característicos de la mayor parte de las técnicas ópticas hacen que sea significativo incluso el relevo tridimensional de una pintura, o sea de un objeto cuya tridimensionalidad no es tan evidente como en el caso de estatuas o partes arquitectónicas, que es una aplicación reciente pero importante en el campo del diagnóstico para

los bienes culturales.⁴⁵ Las técnicas tradicionales como la fotografía con luz rasante ofrecen una reproducción de la situación de conservación de la superficie de la obra que no es ni medible ni evaluable, dependiendo de factores variables y subjetivos como, por ejemplo, la dirección de incidencia de la fuente de iluminación, el ángulo de toma, las distorsiones geométricas del objetivo, la no perfecta reproducibilidad del proceso fotográfico de desarrollo e impresión. El relevo cuantitativo de la forma de una superficie pictórica puede, en cambio, ser útilmente empleado para distintos fines, tanto conservativos como cognoscitivos. Su utilidad varía desde el análisis de los detalles más minuciosos como la medición de los diferentes espesores en las extensiones de color y la discriminación entre *craquelure* real o pintada, a la medida de los efectos de la interferencia entre las telas empleadas para el recubierto, desde la medida de las dimensiones de las lagunas en la capa pictórica, a la documentación de los levantamientos de color, desde las deformaciones del soporte, etc. La investigación tridimensional de una superficie pintada constituye no solo una premisa importante para una correcta intervención de restauración y para la adquisición de informaciones con fines de estudio histórico y conservativo, sino, a la vez, una suerte de contenedor que permite tener siempre la percepción exacta de la posición real del punto o del área examinados. El modelo 3D, realizado a partir de la medida de la forma de un objeto, puede efectivamente ser utilizado para referenciar⁴⁶ los datos provenientes de otras investigaciones diagnósticas, permitiendo una comparación inmediata.

Para el análisis de los detalles más minuciosos de las superficies pictóricas se pueden utilizar muy bien las técnicas interferométricas, que se caracterizan por una resolución y un cuidado elevados, delante de una notable complejidad y sensibilidad a las vibraciones. Para el análisis de la superficie se utilizó la microprofilometría conoscópica de escaneo, un dispositivo basado en una sonda de tipo interferométrico que tiene la ventaja de ser menos sensible a las vibraciones respecto de las técnicas tradicionales y es poco sensible a las variaciones de contraste, característica esta que la hace particularmente apta para el relieve de superficies policromadas como las pinturas.

3.1. MICROPROFILOMETRÍA CONOSCÓPICO DE ESCANEО

La sonda conoscópica es sustancialmente una cámara de video, en cuyo interior, entre el objetivo y el sensor, se encuentra el llamado módulo

45 R. Fontana *et al.* "Ancora sulla 'Madonna del Cardellino': il rilievo in 3D per lo studio dello stato di conservazione e per la referenziazione delle indagini", *OPD Restauro* N° 15, 2003, pp. 42-60.

46 R. Fontana *et al.* "Integrating 2D and 3D data for diagnostics of panel paintings", *Proc. of SPIE* Vol. 5146 (09), 2003; y R. Bellucci y C. Frosinini. "Un 'modello' per la diagnostica integrata. Restituzione tridimensionale e proposta metodologica", *Kermes* 53, XVII, 2004, pp. 29-37.

conoscópico, constituido por un cristal birrefringente uniaxial puesto entre dos polarizadores circulares. Un sutil pincel de luz, emitido por un diodo láser, incide en un punto sobre la superficie del objeto de investigación y se difunde hacia atrás con la sonda. El haz “cónico” de luz recogido por el objetivo de la sonda a través del módulo conoscópico que lo separa en dos haces, llamados respectivamente ordinario y extraordinario. Estos dos haces interfieren dando lugar a franjas concéntricas cuyas características dependen del ángulo de apertura del haz, y por ende de la distancia entre sonda y muestra. Del análisis de estas franjas, más precisamente de la medición de su longitud de onda, se llega a la distancia del punto en cuestión.

El dispositivo para microprofilometría conoscópica realizado utiliza un EDM comercial montado sobre un sistema constituido por dos traslaciones motorizadas de alta precisión (0,1 mm) que permiten escanear objetos de no más de 300'300 mm² de área. Sobre la sonda se montó un objetivo de 50 mm que permite una resolución de casi 1 mm, sobre un intervalo de captura de 8 mm, a una distancia de trabajo de 40 mm. La precisión es mejor que 6 mm, la resolución transversal es de casi 20 mm y la velocidad de adquisición varía entre 100 y 400 puntos por segundo, en función de las características de escaneo (longitud del recorrido, paso de muestreo). El instrumento permite medir superficies prácticamente de cualquier refracción con un ángulo de incidencia muy grande (alrededor de los 85°): con la que se logran medir superficies en condiciones de luz rasante. Además es posible el relevo de detalles de pequeñas dimensiones, como agujeros de diámetro inferior a 1 mm y establecer una relación profundidad/diámetro hasta 25:1.

La visualización del modelo puede obtenerse mediante el soporte de *software* específicamente realizado para la gestión de los datos tridimensionales. Además, es posible una visualización del dato en formato de imagen que permite mejorar la visibilidad de los detalles de la obra, gracias a elaboraciones particulares y muestras del objeto mediante técnicas de análisis digital de las imágenes que usan, por ejemplo, filtros digitales que simulan la iluminación con luz rasante proveniente de varias direcciones.

3.2. RELEVO TRIDIMENSIONAL

El análisis morfológico de la pintura se llevó a cabo a través de la realización de los modelos digitales 3D tanto del anverso como del reverso de la tabla, obtenidos mediante microprofilometría conoscópica de escaneo. Para ambos lados de la pintura, se efectuaron 4 tomas de casi 200'250 mm² con un paso de muestreo de 0,25 mm. Cada una de las tomas comprende zonas de sobreexposición necesarias para la sucesiva alineación: la unión entre dos tomas adyacentes sucede, efectivamente, sobre la base de la alineación de los

puntos comunes a ambas. Una vez alineadas todas las medidas y efectuados los procesos de fusión se obtuvo el modelo tridimensional digital completo (casi 1,8 millones de puntos) tanto del *recto* como del *verso* de la pintura, mostrados en una imagen a partir del *rendering* (proceso de generación de una imagen a partir de un modelo tridimensional, expuesto desde un punto de vista en particular). La restitución gráfica del modelo permite la visualización de la forma de la superficie de la pintura y, por lo tanto, de las deformaciones del soporte, de los espesores de las varias preparaciones y de los levantamientos de color. Mediante programas específicos para esto es posible visualizar tanto el modelo en formato de mapa de color como el gráfico de la sección en ambas direcciones. Un ejemplo de esta representación: los matices de color que van del rojo al violeta indican una convexidad de la tabla en el centro, que se degrada hacia los bordes, como se vio en el *rendering* de la figura 8. Del análisis de los cantos se pudo luego determinar la deformación del soporte: la que resultó ser inferior a 1 mm en dirección horizontal e inferior a 6 mm en dirección vertical.

Utilizando un *rendering* del modelo desde un punto de vista frontal e integrándolo con la imagen a color de la pintura, se puede luego realizar una imagen del todo análoga al resultado de la fotografía con luz rasante. La imagen obtenida de este modo se define como con luz rasante simulada: esta, respecto de la técnica tradicional, presenta la ventaja de ser modificable, dependiendo de los detalles que se quieran destacar. Siendo el *rendering* el resultado de una matriz numérica, es posible cada tanto variar la orientación de la fuente y simular todas las condiciones posibles de iluminación de la pintura. La sobrexposición de la imagen a color con el *rendering* del modelo 3D no solamente deja en evidencia la eventual presencia de levantamientos de color, sino que permite visualizar con exactitud la ubicación. El análisis de los cantos deja en evidencia la presencia de levantamientos de color, probablemente determinados por las deformaciones sufridas por el soporte.

EL ANÁLISIS XRF

INTRODUCCIÓN

Las medidas de fluorescencia x (XRF), efectuadas el 6 de mayo de 2005, se colocan al principio del recorrido diagnóstico sobre materiales pictóricos del *Retrato Trivulzio*, según una práctica probada sobre muchas otras pinturas estudiadas y restauradas en el Opificio delle Pietre Dure que ve como recurso más sólido y a menudo exclusivo las técnicas de análisis no destructivas y en el análisis XRF una suerte de topadora, gracias a la relativa simpleza de empleo y a las grandes posibilidades que ofrece en la caracterización de los pigmentos.

El sistema de fluorescencia x empleado está constituido por un generador de rayos X Gilardoni CPX-M160 y revelador Ge(hp) plano EG&G ORTEC con una resolución de 195 eV a 5,9 keV. La distancia entre muestra-revelador era igual a 6,5 cm, 0,1 cm el diámetro del colimador sobre el haz x de incisión, 180 segundos el tiempo de medida, 4,0 mA para la corriente de trabajo, mientras que para la tensión de trabajo se utilizaron las siguientes condiciones: a) 60 kv y b) 20 kv. La segunda condición se adoptó para poner en evidencia los elementos que emiten rayos x de energía más baja. En la condición a) el haz que incide estaba apantallado, antes del colimador, con un amortiguador de cobre de un espesor de 0,05 cm, con el objetivo de atenuar el componente de energía más baja.⁴⁷ En la figura 15 se ven los puntos examinados, mientras que en la tabla 1 están condensados los resultados, es decir, las intensidades de las principales líneas de los elementos distinguidos en cada punto, bajo la forma de recolecciones de conteo (cps), puestas en orden de energía creciente, de las líneas de fluorescencia organizadas por color. Para los elementos, del calcio al plomo, las intensidades se tomaron de las medidas efectuadas a 20 kv (condición b), para los otros de las efectuadas a 60 kv.

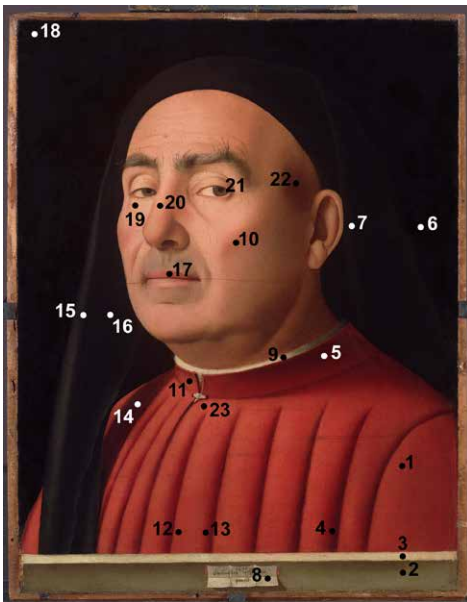


Figura 15. Puntos de medición.

47 Para la descripción de la técnica de investigación, de potencialidad y límites se reenvía a C. Seccaroni y P. Moiola. *Fluorescenza x. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*. Florencia, 2002.

Punto	Color	Descripción	Ca	Mn	Fe	Cu	Hg	Pb	Sr	Sn
8	blanco	cartela	0,81		2,7			149		
9	blanco	cueillo	3,4		1,7			46		
2	gris	balaustra	1,7		44		tr	70		3,4
3	gris claro	balaustra	tr		1,5		tr	155	0,22	14
20	encarnación	nariz	1,3		5,8		5,8	44		
19	encarnación	debajo del ojo	0,58		5,5		7,6	79		
17	encarnación	labios	0,84		8,7		16	54		
10	encarnación	pómulo	1,2		24		17	64	0,18	
22	encarnación	sombra sien	1,8		38	25	19	26	0,25	
6	negro	fondo	11	tr	2,5	78			0,2	
18	negro	fondo	7,3		4,8	119			0,19	
16	negro	gorro (parte más oscura)	5,6	0,35	2,2	46		11		
7	negro	gorro	7		6,5	21		12		
15	negro	gorro	2,6		1,9	15	tr	34	0,15	
21	negro	pupila	2,9		13	46	4,7	21	0,18	
14	negro	sombra vestido	5,3		2,7	17	12	tr		
5	rojo oscuro	cueillo	4,4		3,8	14	20		0,23	
4	rojo oscuro	arruga vestido	3,7		4,5	tr	54	tr	0,28	
11	rojo	cueillo	3,5		2,2		42			
13	rojo	vestido (parte menos radio-opaca)	2,1		3,1	tr	56			
1	rojo	vestido	2,4		2,4	tr	89		0,32	
23	rojo	vestido cerca del botón	tr		0,82		122			
12	rojo	vestido	2,2		2,9		127		0,57	

Tabla 1. Intensidad de las líneas de fluorescencia de los elementos determinados [cps].

RESULTADOS

En los estratos preparatorios hay calcio y estroncio; el primero debido al yeso (sulfato de calcio), el segundo a la celestina (sulfato de estroncio), que constituye una impureza del yeso. A la preparación siempre, por lo general, se encuentran pegadas pequeñas cantidades de hierro.

El elemento químico presente en cantidades mayores en el fondo es el cobre, dado que atestigua el empleo de pigmentos de base de este elemento. La categoría de los pigmentos con base de cobre es bastante amplia, comprende sobre todo verdes y azules, y solo los datos XRF no permiten establecer el color del pigmento empleado en el negro del fondo; de todos

modos se puede afirmar la intencionalidad de conferirle una tonalidad fría al negro.⁴⁸ Es particularmente relevante la ausencia total de plomo, que indica que no fue utilizada una imprimatura por encima de la preparación de yeso y cola.

Las encarnaciones se obtuvieron con blanco de plomo, cinabrio (bermellón) y pigmentos a base de hierro (tierras, ocre, etc.); la presencia de cinabrio aumenta en las tonalidades más saturadas, la de los pigmentos a base de hierro con el oscurecimiento del color; los contenidos determinados por este último elemento resultan, por lo tanto, máximos en las zonas de sombra, oscurecidas luego del agregado de pequeñas cantidades de pigmentos a base de cobre.

El iris y la pupila fueron pintados con tierras y ocre y pigmentos a base de cobre; las intensidades no elevadas de plomo y aquellas aún más bajas del mercurio se deben a agregados de otros pigmentos como correctivos del color.

El gris de la balaustrada-parapeto delante del retratado se obtuvo con pigmentos a base de hierro (tierras, ocre, etc.), blanco de plomo y amarillo de plomo y estaño. Como era previsible, los contenidos de estaño y, sobre todo, de plomo sufren un aumento drástico en relación con el claro, lo que indica agregados mayores de amarillo de plomo y estaño y, en mayor medida, de blanco de plomo, mientras tiende casi a desaparecer la presencia de hierro.

El blanco de la cartela corresponde a las muestras más ricas en plomo, a causa de los elevados porcentajes de blanco de plomo empleados; la ausencia de estaño, frente a la presencia tanto en las partes de luz de la cumbrera como en la del frente de la balaustrada, atestigua que la cartela no fue pintada sobre el gris de la balaustrada o bien que fue pintado solo sobre una primera preparación del gris y que el amarillo de plomo y estaño se utilizó solamente en los estratos finales, elaborados luego de la realización o, por lo menos, de la impostación de la cartela. Esta segunda hipótesis parecería más coherente con lo que se mostró con la imagen radiográfica.

El vestido rojo se obtuvo con cinabrio casi puro, sin haberlo aclarado un poco con el agregado de blanco de plomo, minio o amarillo de plomo y estaño.⁴⁹ Los oscuros se caracterizan por el uso de pigmentos a base de cobre, de cualquier forma siempre en cantidades muy bajas. Análogamente para lo que se encontró en el fondo, en las zonas más oscuras de las sombras del vestido, la ausencia de plomo destaca que no hay

48 Se destaca la imposibilidad de identificar mediante el análisis XRF el empleo de pigmentos negros a base de carbono.

49 La única excepción está representada por la determinación de rastros de plomo en el punto 4. Se recuerda además la imposibilidad de identificar mediante análisis XRF el empleo de pigmentos de origen orgánico, como las lacas.

ninguna imprimatura sobre la preparación en yeso. El uso de pigmentos a base de cobre es cada vez más consistente en el gorro. Respecto del negro del fondo el del gorro se diferencia por una pequeña presencia de plomo y por las cantidades menores de pigmentos a base de cobre empleados.

CORRELACIÓN ENTRE RADIO OPACIDAD Y ELEMENTOS DETERMINADOS

Las medidas XRF efectuadas sobre el *Retrato Trivulzio* mostraron el uso de una paleta concentrada en un número restringido de pigmentos utilizados en estratos muy delgados. Las intensidades no elevadas particularmente por todos los elementos determinados garantizan que estamos lejos de situaciones de saturación, en la que ya no se tiene una proporcionalidad lineal entre las intensidades medidas para las líneas de fluorescencia y la concentración real de cada elemento. Ambas características sugirieron efectuar una verificación en mérito a la respuesta de una correlación entre las intensidades de las líneas de fluorescencia de los elementos y el nivel de gris medido sobre la imagen radiográfica de la pintura. Efectivamente, de manera indirecta, también la imagen radiográfica puede dar informaciones sobre la composición de la materia pictórica. La contribución a la atenuación producida por la película pictórica durante el paso de la radiación x puede calcularse sobre la base de su composición y de la energía del haz X.⁵⁰ La radio opacidad de una cuadrícula es su capacidad de absorber los rayos X que la atraviesan; está determinada por la densidad de la materia presente en ella, a la que contribuyen, sobre todo, los elementos pesados. Directamente unido a la radio opacidad está el nivel de gris de la zona correspondiente sobre la lámina radiográfica, llamado también densidad fotográfica⁵¹ y mensurable a través de un lector óptico.⁵² En el caso de preparaciones relativamente puras y sin estratificaciones ni calibraciones en su complejo, sobre muestras de referencia pueden además ayudar a la lectura de una imagen radiográfica a fines de una verificación de la composición de una cuadrícula formulada sobre la base de datos

50 La radio opacidad de la capa pictórica está ligada al coeficiente de absorción de masa de materiales empleados, a su vez relacionado con el número atómico de los elementos químicos presentes y por ende a la densidad física de los materiales y a las condiciones de irradiación (longitud de onda de los x). P. Moiola y C. Seccaroni. *Tecniche radiografiche applicate ai Beni Culturali*. ENEA, Roma, 2004, pp. 29-53.

51 La *densidad fotográfica* de una zona está vinculada a la relación entre la intensidad de la luz que incide sobre la zona (F^0) y la intensidad de la transmitida por la misma zona (F), y está dada por el logaritmo de la relación entre las dos intensidades, es decir, $D = \log (F^0/F)$.

52 G. Accardo, P. Moiola y C. Seccaroni. "Taratura di lastre radiografiche per analisi di dipinti", *3rd International Conference on Non-destructive testing, microanalytical methods and environment evaluation for study and conservation of works of art*, Viterbo, 4-8 de octubre de 1992, pp. 21-35.

ópticos o dados por técnicas de imagen que producen una respuesta en términos de colores falsos. Como se dijo, el *Retrato Trivulzio*, presentando una paleta limitada a pocos pigmentos, estratos pictóricos delgados y una imagen extremadamente simplificada, constituye un banco de prueba ideal para una verificación experimental que ponga en relación directa las informaciones que se recaban de las láminas radiográficas con la presencia de los elementos químicos no livianos estudiados mediante el análisis XRF.

Para ese fin se utilizaron las radiografías efectuadas por el Opificio delle Pietre Dure;⁵³ de cada una de las áreas de medida estudiadas con el análisis XRF se evaluó la densidad fotográfica mediante medidas de atenuación óptica (tabla 2).

Punto	Color	Descripción	Densidad fotográfica
1	rojo	vestido	2,45
2	gris	balaustrada	2,42
3	gris claro	balaustrada	1,7
4	rojo oscuro	arruga vestido	2,69
5	rojo oscuro	cuello	2,82
6	negro	fondo	2,92
7	negro	gorro	2,86
8	blanco	cartela	1,91
9	blanco	cuello	2,7
10	encarnación	pómulo	2,52
11	rojo	cuello	2,88
12	rojo	vestido	2,2
13	rojo	vestido (parte menos radio-opaca)	2,68
14	negro	sombra vestido	2,93
15	negro	gorro	2,72
16	negro	gorro (parte más oscura)	2,92
17	encarnación	labios	2,56
18	negro	fondo	2,72
19	encarnación	debajo del ojo	2,35
20	encarnación	nariz	2,63
21	negro	pupila	2,71
22	encarnación	sombreado	2,68
23	rojo	vestido cerca del botón	2,2

Tabla 2. Densidad fotográfica medida con densitómetro óptico sobre las placas radiográficas, en correspondencia con los puntos estudiados mediante el análisis XRF.

⁵³ La radiografía se hizo con los siguientes parámetros operativos: tensión de alimentación del tubo 32 kV, corriente 5 mA, tiempo de exposición 5 minutos, distancia fuente-pintura 220 cm.

Ya que los datos de densidad fotográfica están unidos a la composición de la materia de las respectivas áreas de medida, se condujo una regresión lineal múltiple, poniendo como variable dependiente la densidad fotográfica misma y como variables independientes las intensidades de las líneas de fluorescencia medidas por los varios elementos. Se excluyeron el magnesio, el calcio y el estroncio de las variables consideradas, el primero porque se lo determinó (estableció) solo dos veces de las cuales una en rastros (restos); los otros dos elementos porque unidos a la composición de los estratos preparatorios, por lo tanto intercalados con los estratos pictóricos de acuerdo con su composición; por otra parte es probable que las contribuciones de calcio y estroncio, precisamente porque pueden reconducirse a los estratos preparatorios, en ausencia de pantalla deban resultar casi constantes, por lo tanto no influyentes sobre variaciones de densidad fotográfica. La regresión múltiple obtenida está representada por la siguiente fórmula, cuyos coeficientes están volcados en la tabla 3, mientras Fe, Cu, Hg, Pb, Sn son las intensidades de las líneas de los elementos, en correspondencia con cada uno de los puntos de medición, volcadas en la tabla 1.

$$\text{densidad fotográfica} = A_0 + A_{Fe} * Fe + A_{Cu} * Cu + A_{Hg} * Hg + A_{Pb} * Pb + A_{Sn} * Sn$$

A_0	3,055
A_{Fe}	-2,581E-04
A_{Cu}	-2,501E-03
A_{Hg}	-6,553E-03
A_{Pb}	-7,733E-03
A_{Sn}	-1,186E-02

Tabla 3. Coeficientes de la regresión múltiple que relaciona la densidad fotográfica medida sobre las placas radiográficas con las medidas XRF.

Del análisis de los datos dados por la regresión, resulta evidente que la mayor contribución a la densidad fotográfica está dada por el soporte y por los estratos preparatorios, que influyen de manera casi homogénea sobre toda la superficie y que están representados en la fórmula por el factor constante de la regresión lineal (A_0). Ya que una pantalla mayor determina zonas más clara sobre la lámina, que corresponden a su vez a valores menores de densidad fotográfica, la contribución a la regresión aportada por los cinco elementos tomados en consideración está representada por valores sistemáticamente negativos de los respectivos coeficientes. En este punto es interesante observar las incidencias de cada uno de los elementos sobre las variaciones de densidad fotográfica, incidencias representadas por el valor absoluto de los respectivos coeficientes. El coeficiente más bajo es el relativo al hierro, elemento contenido

en pigmentos menos radio-opacos respecto de aquellos que contienen los otros elementos tomados en consideración por la regresión, es decir, cobre, mercurio, estaño y plomo.

Aparentemente, es extraño que el estaño incida más respecto del mercurio y el plomo, pero tenemos que tener presente que en la regresión los datos utilizados se refieren a líneas diferentes (κ para el estaño y L para los otros dos elementos), que tienen un rendimiento de fluorescencia marcadamente distinto; de todos modos, se observa que en las medidas XRF sobre el Retrato Trivulzio la presencia del estaño se determinó solo dos veces (puntos 02-03, ambos sobre la balastrada delante del retratado). Del todo natural aparece, sin embargo, la proximidad de los valores de los coeficientes de mercurio y plomo, sobre todo si se tiene en cuenta la proximidad de los respectivos coeficientes de absorción de masa, en base a los que es posible calcular, por una vía teórica, la radio-opacidad del pigmento, estimados por A. Martin De Wild para el blanco de plomo ($88,5 \text{ cm}^2/\text{gr}$ para el pigmento puro y $70,9 \text{ cm}^2/\text{gr}$ para el pigmento con óleo) y para el cinabrio ($81,7 \text{ cm}^2/\text{gr}$ para el pigmento puro y $72,7 \text{ cm}^2/\text{gr}$ para el pigmento con óleo).⁵⁴

Con una verificación posterior de las bondades de la regresión efectuada (con un coeficiente de correlación $r=0,989$), se compararon los valores de la densidad fotográfica medida sobre las láminas con aquellos calculados por los datos XRF, según la misma regresión. Hay un fuerte acuerdo entre las dos medidas, según atestigua la exactitud del modelo físico sobre el que se basaron las consideraciones precedentes y por la ausencia de interferencias determinadas por eventuales efectos de saturación debidos a capas pictóricas espesas o con estratificaciones muy ricas y complejas, que se habrían reflejado con efectos de pantalla sobre las contribuciones de algunos elementos diferentes de un punto a otro y dependientes de la composición y de la sucesión estratigráfica de los varios niveles.

Las mayores diferencias se observan porque algunos puntos tienen valores mayores de densidad fotográfica, pero esto encuentra una justificación física en el hecho de que esas zonas son aquellas correspondientes a los oscuros máximos. En la densidad fotográfica de esas zonas, efectivamente, inciden escasamente los elementos tomados en cuenta en la regresión, mientras que el análisis XRF no da ninguna información sobre los elementos de bajo número atómico contenidos en los pigmentos oscuros empleados, probablemente de los negros con base de carbono; por otra parte, en las zonas más oscuras inciden de manera evidente, fluctuaciones sobre la densidad fotográfica producidas por la contribución de los estratos preparatorios y al entramado del soporte, con consecuentes

54 A. M. De Wild. *The scientific examination of pictures*. London, 1929, pp. 95- 96.

repercusiones sobre la diferencia entre el valor medido y el calculado, en base a los elementos determinados por el análisis XRF.

COMPARACIONES CON OTRAS PINTURAS DE ANTONELLO

La reciente exposición monográfica sobre Antonello da Messina en las Escuderías del Quirinale constituyó la oportunidad para llevar adelante una serie de profundizaciones analíticas sobre muchas obras del autor, de las que se da cuenta en el catálogo de la exposición⁵⁵ y en las actas de un convenio específico sobre la técnica y sobre los problemas conservativos de las obras del pintor,⁵⁶ y en artículos que aprovecharon esta ocasión para dar a conocer datos adquiridos en restauraciones pasadas.⁵⁷ Los estudios sobre las obras y sobre la técnica de Antonello no se terminaron, de ninguna manera, con este evento expositivo excepcional, sino que continuaron con eventos⁵⁸ e investigaciones⁵⁹ independientes; por otra parte, la restauración del *Retrato Trivulzio* en sí, de la que se da cuenta en el presente volumen, produjo una notable aparición de resultados obtenidos por otros estudios independientes de las investigaciones programadas para la muestra romana. En este artículo no se quiere dar cuenta de la tabla de Antonello en absoluto; sino que se pretende, partiendo de lo encontrado en el *Retrato Trivulzio*, buscar puntos de encuentro en situaciones análogas, con el fin de hacer comparaciones orientadas. Habiendo visto la gama cromática de la pintura, concentrada en el rojo del vestido, en el negro del fondo y del gorro, en la encarnación y en los blancos y en los grises del cuello y de la balaustrada, las consideraciones

55 G. L. Poldi y G. C. F. Villa. "‘Cuius pictura est intuenda admirarationi’. Contributo alla comprensione della tecnica di Antonello", en M. Lucco (a cargo de): *Antonello da Messina. L'opera completa*, - 39 *Contributi*. Catálogo de la muestra (Roma, 18 de marzo-25 de junio de 2006), Cinisello Balsamo, 2006, pp. 91-113.

56 G. L. Poldi y G. C. F. Villa (a cargo de). "Antonello da Messina. Analisi scientifiche, restauri e prevenzione sulle opere di Antonello da Messina in occasione della mostra alle Scuderie del Quirinale", *Actas de la jornada de estudio* (Roma, Escuderías del *Quirinale*, 19 de mayo de 2006), Cinisello Balsamo (Milán) 2006.

57 C. Mora, B. Provinciali y A. Soavi. "Antonello nel percorso delle opere restaurate dall'Istituto Centrale per il Restauro. Dall'Ecce Homo del Collegio Alberini alle tavole degli Uffizi", *Kermes* 62, 2006, pp. 49-66.

58 Jornada de estudio sobre la *Anunciada* en Sicilia (13 de diciembre de 2006, Palermo, Palazzo Montalbo), con intervenciones concernientes: la tomografía axial computarizada (G. Salerno, D. Lo Sasso), las investigaciones multiespectrales (G. Bruno, F. Prestileo), la fluorescencia RX (C. Di Stefano), las investigaciones microbiológicas (G. Liotta), las restauraciones de las dos tablas (F. Fazio) y la restauración virtual (N. Scardeoni).

59 M. C. Galassi. "Aspects of Antonello da Messina's technique and working method in the 1470's between Italian and Flemish tradition", en I. Alexander-Skipnes (a cargo de): *Cultural exchange between the Netherlands and Italy, 1400-1600*. Turnhout, 2007, pp. 63-85.

sobre los materiales pictóricos empleados podrían resultar fuertemente circunscriptas y reductivas, pero conviene correr este riesgo antes que lanzarse en vuelos de fantasía que conducirían a generalizaciones excesivas y banalización.

En la comparación es conveniente, por lo tanto, concentrarse en los retratos, o sea en esas obras que muestran mayores afinidades compositivas y cromáticas. Desafortunadamente, no obstante la proliferación de estudios e investigaciones, son pocos los trabajos que dan cuenta de los materiales pictóricos utilizados por Antonello en los retratos; entre los estudios publicados, el más útil para nuestros fines es el *Ritratto di uomo* de la Galería Borghese,⁶⁰ obra utilizada varias veces también en el plano estilístico e histórico-artístico en comparación directa con el *Retrato Trivulzio*. En el plano de la técnica pictórica, dejando de lado ciertas semejanzas banales como el empleo de negros con base de carbono para los oscuros y de cinabrio y laca roja para los vestidos (soluciones alternativas habrían sido altamente improbables), dos correspondencias resultaron extremadamente interesantes, la ausencia de un estrato preparatorio a base de blanco de plomo sobre toda la superficie que pueda entenderse como imprimación⁶¹ y la utilización de pigmentos a base de cobre, a pesar de la ausencia de verdes y azules en la gama cromática de las dos obras. La utilización de pigmentos a base de cobre caracteriza también la composición del fondo detrás de la *Anunciada* de Palermo, también esta obra estudiada con análisis XRF.⁶²

En las estratigrafías del *Retrato de hombre* de la Galería Borghese se encontró que la imprimación es sustituida por un estrato delgado de material orgánico, que puede ser interpretado como una especie de “encolado”,⁶³ en sintonía con la técnica a la ténpera determinada por los estratos más profundos de la encarnación. Todavía más interesante resulta la presencia de pigmentos a base de cobre en las tablas de las dos pinturas. En el *Retrato de hombre* de la Galería Borghese se habla de “rastros mínimos de pigmento verde a base de cobre”, encontrados en una muestra tomada del

60 E. Zatti. “L'intervento di restauro sul *Ritratto d'uomo* di Antonello da Messina”, en: *Incontri*, catálogo de la muestra (Roma, 10 diciembre 2002-9 marzo 2003), Milano, 2002, pp. 70-81; M. Seracini. “Schede cliniche digitali di dipinti della Galleria Borghese”, en: *Incontri*, *op. cit.* pp. 108-115.

61 En el *Retrato Trivulzio*, como se vio, esto lo demuestra la total ausencia de plomo en dos zonas investigadas en el fondo (puntos 6 y 18) en donde, habida cuenta de la composición de los estratos cromáticos visibles, no eran posibles eventuales fenómenos de pantalla, que enmascararan la contribución de una eventual imprimación, aunque fuera de un espesor mínimo.

62 C. di Stefano et al. “Monitoraggio chimico”, en P. Biscottini (a cargo de): *Antonello da Messina, L'Annunciata*, catálogo de la muestra (Milán, 5 de octubre- 25 de noviembre de 2007), Cinisello Balsamo, 2007, pp. 44-47.

63 Seracini. “Schede cliniche digitali di dipinti della Galleria Borghese”, *op. cit.*, p. 109.

fondo oscuro, a la izquierda del retratado, cerca del borde.⁶⁴ En el *Retrato Trivulzio*, en cambio, la presencia de cobre se distingue en muchos puntos estudiados y es tanta que influye, como hemos visto, también en la radio-opacidad de las muestras.

La comparación entre las dos pinturas parecería mostrar la utilización, más generalizada, de pigmentos a base de cobre en el *Retrato Trivulzio*, aunque se deba evitar el cortocircuito brutal con los datos obtenidos con técnicas diferentes; en cuanto al relevo hecho sobre el *Retrato de hombre* de la Galería Borghese, estuvo limitado debido a la necesidad de trabajar sobre la muestra por las técnicas de análisis adoptadas, mientras que el uso de una técnica no destructiva para el estudio del *Retrato Trivulzio* dio un muestreo mucho más conspicuo y representativo; por otra parte cualquier técnica no destructiva delante de los resultados obtenidos no alcanza la exhaustividad que ofrece el estudio de una sección estratigráfica. Con semejantes premisas resulta evidente que la comparación de los datos conseguidos en los dos retratos no puede llevarse más allá de ciertos límites.

Mientras en la muestra del *Retrato de hombre* de la Galería Borghese el pigmento a base de cobre utilizado por Antonello es un verde, la observación en el microscopio óptico de la superficie pictórica del *Retrato Trivulzio* permitió acertar que por lo menos en el fondo, en donde los contenidos de cobre resultan sumamente mayores, el pigmento a base de cobre utilizado es de color azul (probablemente la azurita). Desde el punto de vista del empleo, el pigmento o los pigmentos a base de cobre fueron utilizados por Antonello para enfriar la tonalidad del color del fondo y del gorro y las sombras en las preparaciones cromáticas de las encarnaciones y del vestido rojo, definiendo de este modo, en este último detalle, una situación más articulada de una eventual definición de los volúmenes con veladuras a base de laca roja y de refuerzo de la luz con el cinabrio puro sobre una base constituida también de cinabrio solo. Por cierto, la sola determinación del cobre no permite verificar si también en la encarnación y en el vestido rojo el refuerzo de los oscuros haya sido realizado con un pigmento azul, como en el fondo, o bien verde; en el primer caso el agregado, aunque mínimo, hubiera producido un ligero corrimiento hacia las tonalidades más violáceas, mientras que en el segundo caso ese agregado, debido a que se hizo con un pigmento de color casi complementario a la tonalidad base de la muestra, hubiera simplemente producido una pérdida de saturación de la muestra con su consecuente oscurecimiento. La práctica de reforzar las sombras de las

64 E. Zatti. "L'intervento di restauro sul Ritratto d'uomo di Antonello da Messina", *op. cit.*, p. 74; la información se refiere a la presencia genérica del pigmento en la paleta identificado por los análisis. La localización de la muestra en la que hay pigmentos a base de cobre deriva de una comunicación oral de la restauradora Elisabetta Zatti.

encarnaciones con pigmentos azules o verdes es frecuente en los pintores del siglo XVI y, sobre todo, del siglo XVII,⁶⁵ mientras no parece encontrar una correspondencia directa con autores precedentes o contemporáneos de Antonello, ni siquiera en el área lagunar. La presencia de pequeñas cantidades de pigmentos a base de cobre es recurrente, si no sistemática, en las obras de Antonello estudiadas o preparadas para la muestra en las Escuderías del Quirinale, caracterizando también los oscuros de las encarnaciones.⁶⁶

Por último se destaca la presencia de amarillo de plomo y estaño, solo en la composición de las encarnaciones de dos pinturas (el *Cristo en la columna* del Louvre⁶⁷ y la *Piedad* del Museo Correr de Venecia),⁶⁸ mientras que en el *Retrato Trivulzio* ese pigmento fue utilizado solamente para la balaustrada delante del retratado, en particular para las partes más en luz.

LA PIEDAD DEL MUSEO CORRER

La *Piedad* del Museo Correr de Venecia fue estudiada mediante el análisis XRF con motivo de la restauración de un nutrido grupo de obras de pintores vénetos, en particular de los tres Bellini, de Cosmè Tura y de Carpaccio, pertenecientes a los Cívicos Museos Venecianos.⁶⁹ La publicación de los resultados de los análisis se hizo de manera condensada; por lo tanto se considera oportuno, en este trabajo, proponer los datos numéricos de las medidas XRF llevadas a cabo en la pintura (figura 16, tablas 4 y 5), haciendo posible de este modo comparaciones y consideraciones futuras, gracias a la inserción de datos analíticos sobre las obras de Antonello en trabajos recientemente publicados.

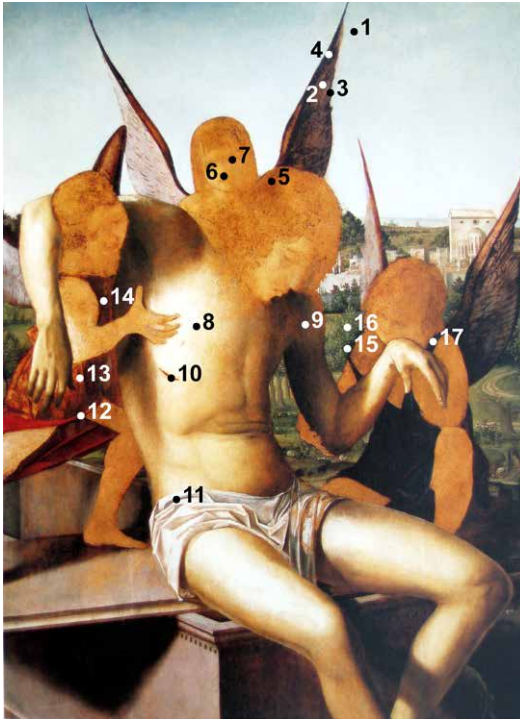
65 H. Glanville. "Veracity, verisimilitude and optics in painting in Italy at the turn of the 17th century", *Italian Studies* 57, 2001, pp. 30-56.

66 Ver las *fichas analíticas* publicadas en cola a las actas de la jornada de estudio *Antonello da Messina. Analisi scientifiche, restauri e prevenzione sulle opere di Antonello da Messina in occasione della mostra alle Scuderie del Quirinale*, op. cit., pp. 210-255. La presencia sistemática de pequeñas cantidades de pigmentos a base de cobre, independientemente del color o de las características del punto de medida, parecería darle crédito, sin embargo, a la sospecha de interferencias en las mediciones.

67 E. Martin. "Le Christ à la colonne. Etude matérielle. Contribution à l'étude technique", en D. Thiébaud (a cargo de): *Le Christ à la colonne d'Antonello de Messine*. Paris, 1994, pp. 55-59.

68 Respecto de los resultados de los análisis XRF, hechos sobre la pintura [publicados en P. Moiola, R. Scafè y C. Seccaroni. "Esame dei pigmenti con la tecnica della fluorescenza X", en A. Dorigato (a cargo de): *Carpaccio, Bellini, Tura, Antonello e altri restauri quattrocenteschi della Pinacoteca del Museo Correr*, catálogo della mostra (Venecia, 26 marzo-24 maggio 1993), Milano, 1993, pp. 222-233), se volverá en el próximo párrafo.

69 P. Moiola, R. Scafè y C. Seccaroni. "Esame dei pigmenti con la tecnica della fluorescenza X", op. cit.



16. *Piedad*; zonas estudiadas.

Punto	Color	Descripción	Fe	Cu	Zn	Hg	As	Pb	Sr	Sn	Sb
1	azul	cielo		10				159			
17	azul	omóplato ángel		15				9,6	3	1,7	
16	verde-azul	paisaje		120				83		118	
15	verde claro	árboles		26				161	3,8	301	
12	rojo	pañería del ángel	1,2		tr	5,4		3,5	4,3	tr	
13	anaranjado	vestido ángel	tr			9	23	2,4	3,7	tr	
14	azul	decoración vestido	1,2	Tr		13	tr	9,7	2,8	1,4	
2	bruno	ala ángel	tr	9,7				71	3,1		
3	bruno	borde del ala ángel		9,4				133	tr		
4	azul	borde del ala ángel		11				61	tr		
5	cabellos	cabellos Cristo	1,8	6,0	8,6		6	8,6	3,8	tr	7,7
			3,8	tr	7,7						
6	encarnación	nariz ángel						12	3,2	3,2	
7	encarnación	sombra ojo ángel	0,81			tr		8,7	2,9	tr	4,7

Punto	Color	Descripción	Fe	Cu	Zn	Hg	As	Pb	Sr	Sn	Sb
8	encarnación	original	tr					179		117	
9	encarnación oscura	original	3,3					61	tr	46	
10	sangre		2					189	2,6	188	
11	gris	arruga taparrabo	Tr					207		62	

Tabla 4. *Piedad*; intensidad de las líneas de fluorescencia de los elementos determinados con tensión de trabajo de 60 kV [cps].

Punto	Color	Descripción	Ca	Cr	Fe	Cu	Hg	As	Pb
1	azul	cielo	5,6		10	684			661
14	azul	decoración vestido	55		244	45	104	48	16
2	bruno	ala ángel	230		42	1044			348
3	bruno	borde del ala ángel	12		27	924			590
5	cabellos	Cristo	144		528		41		36
6	encarnación	nariz ángel	258		34				52
7	encarnación	sombra ojo ángel	174		339		tr		31
8	encarnación clara	original	5	3,9	83				743
9	encarnación clara	original	59		631	tr			261

Tabla 5. *Piedad*; intensidad de las líneas de fluorescencia de los elementos determinados con tensión de trabajo de 20 kV [cps].

Antes de pasar a una lectura veloz de esos datos, deben hacerse algunas consideraciones respecto del trágico estado de conservación de la obra y de una hipótesis sobre las circunstancias que pudieron haberlo determinado. La superficie aparece devastada por una restauración antigua, que en algunos puntos incluso deja ver la preparación y trazos del dibujo preparatorio.⁷⁰ La coexistencia de zonas casi sin estratos pictóricos adyacentes a otras, en las que las preparaciones parecen haber sobrevivido casi en su totalidad, sugiere que la obra fue dejada incompleta y terminada de mala manera y rápidamente. El desastroso estado actual sería, por lo tanto, fruto de un antiguo intento de eliminar los repintes; solo de este modo parecería efectivamente explicable el actual y diferente estado de terminación de áreas adyacentes, como las de los vestidos y de las encarnaciones de los ángeles a la izquierda y a la derecha del Cristo o sus manos derechas, con la preparación a la vista, a diferencia de las adyacentes partes en sombra de la encarnación

70 Se cree que esta "limpieza", llevada a cabo tanto con medios mecánicos, de los que se evidencian las raspaduras de los solventes corrosivos, como precedentes a 1830. *Carpaccio, Bellini, Tura, Antonello e altri restauri quattrocenteschi della Pinacoteca del Museo Correr, op. cit.*, nota 1a, p. 69.

del Cristo, en un estado bastante más avanzado en la construcción de la figura, aunque sea notoria la mayor vulnerabilidad a la limpieza de las zonas en sombra.

A la luz de la hipótesis de que la pintura haya quedado inconclusa, es posible hacer una serie de consideraciones sobre los métodos de trabajo de Antonello, no verificables de otro modo con ninguna técnica diagnóstica sobre el cuadro terminado. La primera consideración concierne al grado de terminación elevado del paisaje, la única zona con buenas condiciones conservativas de la pintura. Este insospechado método de proceder, desde el fondo hacia los detalles de mayor interés de la composición, encuentra una correspondencia también en la construcción de las figuras, con el cuerpo de Cristo casi terminado mientras que la cabeza parecería poco más que impostada y con los ángeles que tienen los vestidos terminados, las alas bocetadas con las primeras preparaciones cromáticas y todo el cuerpo apenas insinuado. Este método de procedimiento desde el fondo hacia el proscenio y desde el detalle hacia las zonas de mayor relieve iconográfico aparentemente está volcado en la impostación de las figuras, ya que el Cristo aparece con un grado de terminación marcadamente mayor respecto de los tres ángeles; de todos modos esto encuentra una justificación en la necesidad (o en la oportunidad) de deshacer el nudo de figuras de la composición, partiendo de la que constituye la articulación y el sujeto alrededor del cual rotan las otras.

Ya que en la *Piedad* no se tomaron sistemáticamente las medidas en ambas condiciones operativas (o sea con tensión de trabajo de 20 y a 60 kv), se prefiere presentar los resultados en dos tablas distintas.

Los azules del cielo (punto 1), del vestido del ángel de la derecha (punto 17), del bordado del vestido del ángel a la izquierda (punto 14) y del ala del ángel en el centro (punto 4) se realizaron con pigmentos a base de cobre, utilizados además en otras zonas de color oscuro de la misma ala (puntos 2 y 3).

Los verdes (puntos 15 y 16) se obtuvieron con un pigmento a base de cobre y con amarillo de plomo y estaño. El rojo del forro del vestido del ángel de la izquierda (punto 12) se obtuvo con cinabrio; los restos de zinc encontrados en esta zona permiten suponer la presencia de retoques. El anaranjado del mismo vestido (punto 12) se realizó, en cambio, con un pigmento a base de arsénico (oropimente o, más probablemente dada la coloración, *realgar*) y cinabrio, en proporciones variables según la zona. Los datos obtenidos por la medida efectuada en correspondencia con la decoración azul sobre el anaranjado del vestido (punto 14) muestran la presencia adicional de cobre, aunque en cantidades no elevadas, de la que se obtiene que el azul de esta decoración se realizó con

pigmentos a base de cobre,⁷¹ sin excluir, sin embargo, la participación adicional de azules que no pueden determinarse a través del análisis XRF, como el lapislázuli.

Cantidades no insignificantes de cinabrio caracterizan también la coloración oscura de los cabellos del Cristo (punto 5); la presencia de antimonio, debida al amarillo de Nápoles, parecería indicar, de todos modos, que esa zona está repleta de retoques.

La presencia de antimonio distingue también una de las encarnaciones (punto 7), junto a rastros de mercurio debidos al uso de cinabrio. Estos dos elementos resultan ausentes en las otras encarnaciones (puntos 6, 8, 9 y 10), por lo que se puede creer que también en el punto 7 estén unidos exclusivamente a retoques y no a la materia pictórica original. La ausencia de pequeñas cantidades de cinabrio en la composición de las encarnaciones originales puede parecer, a primera vista, extraña, ya que su presencia es usual en estos fondos, como muestran los datos obtenidos sobre el *Retrato Trivulzio* y sobre el *Retrato de hombre* de la Galería Borghese y sobre las otras obras de Antonello hasta ahora estudiadas; esto encontraría, de todos modos, una explicación en la naturaleza incompleta de la obra, mientras que los niveles cromáticos más encendidos y saturados de las encarnaciones se aplicaban en los estratos más superficiales.

Análogamente a la presencia de antimonio, también de cromo en una zona del tórax de Cristo (punto 8) debe relacionarse con los retoques efectuados, en este caso, con pigmentos modernos.

La ausencia de cinabrio es todavía más significativa sobre la herida sangrante del costado (punto 10), en la que, por lo tanto, además del uso de pigmentos a base de hierro (tierra y ocre) se cree también el de una laca, pigmento no identificable mediante el análisis XRF.

Ya se reveló, a propósito del *Retrato Trivulzio*, el modo en que el amarillo de plomo y estaño se utilizó solamente en las encarnaciones de la *Piedad* y en las del *Cristo en la columna* del Louvre. Es muy probable que haber recurrido a este pigmento haya estado motivado por la voluntad del pintor de enfatizar el aspecto casi lívido del cuerpo exangüe del Cristo.⁷² En la *Piedad* del Museo Correr, de todos modos, el estaño está presente también en las encarnaciones de los ángeles, si bien de manera fuertemente reducida respecto de lo encontrado en el Cristo. Esto podría indicar la necesidad de acordar tales fondos –las diferencias en los valores

71 El empleo de pigmentos a base de cobre es, de todos modos, extraño, habida cuenta de su notable incompatibilidad con los pigmentosa base de arsénico.

72 Sobre la figura del Cristo, el estaño se determinó en cantidades elevadas, en correspondencia también con el paño (punto 11) 40 *Contribuciones*.

en juego garantizarían las diferencias entre la palidez de los primeros y la lividez del segundo— o bien, más probablemente, podría estar asociado con residuos de antiguos repintes, dado que estas son las partes de la pintura que más sufrieron.

