
LA CONSERVACIÓ DELS MURALS DE LA CAPELLA DE SANT MIQUEL DEL REIAL MONESTIR DE SANTA MARIA DE PEDRALBES

THE CONSERVATION OF THE PAINTINGS IN SAINT MICHAEL'S CHAPEL IN THE MONASTERY OF ST MARY OF PEDRALBES

Lídia Font i Rosa Senserrich

La capella de Sant Miquel del Reial Monestir de Pedralbes de Barcelona és una petita estança de només vint metres quadrats de superfície, la decoració de la qual fou encarregada al taller de Ferrer Bassa l'any 1346. Malgrat les seves dimensions reduïdes, en conjunt suma prop de cent metres quadrats de superfície pictòrica, uns setanta-cinc dels quals corresponen als murals que omplen els paraments amb escenes de la Passió de Crist, els Goigs de la Verge, el Judici Final i la Salvació de les Ànimes, com també amb diverses figures de sants. La superfície restant és la decoració de l'embigat que representa la volta celeste.

La pintura mural s'estructura en registres delimitats per sanefes amb motius geomètrics. Als registres central i superior es desenvolupen les diverses escenes emmarcades a dalt i a baix per una arquitectura simulada de plafons de marbre fingits.¹ Tots aquests elements accentuen el marcat italianisme del cicle pictòric que vincula Barcelona i la Corona d'Aragó amb les innovacions que neixen a les ciutats toscanes pels volts de l'any 1300. Aquestes innovacions, com veurem més endavant, no estan només relacionades amb un nou llenguatge figuratiu, sinó també amb les noves maneres d'executar la pintura que són, en bona part, coincidents amb les italianes.

El conjunt està ben conservat i complet i és accessible i de dimensions abastables, la qual cosa en facilita la preservació i estudi. També

Saint Michael's Chapel in Barcelona's Pedralbes Monastery is a small room just 20 square metres in size. Ferrer Bassa's workshop was commissioned to decorate the space in 1346. Despite its small size, the chapel contains nearly 100 square metres of painted surfaces, including 75 metres of murals decorating the walls with scenes from the Passion of Christ, the Joys of the Virgin, the Last Judgment and the Weighing of the Souls, as well as various images of saints. The beams and ceiling are also decorated to represent the heavens.

The paintings are surrounded by friezes decorated with geometric motifs. The central and upper registers portray various scenes that are framed above and below by a faux marble background.¹ All of these elements accentuate the marked Italianism of the ensemble of works, which links Barcelona and the Crown of Aragon to the innovations that arose in Tuscany around the year 1300. As we shall see later, these innovations are related not only to a new figurative language but also to new painting techniques that to a large extent mirrored Italian techniques.

The work as a whole is well conserved, complete, and accessible in size, making it easy to conserve and study. In terms of location, the monastery is far from the city centre and the chapel is well protected from external environmental factors, guaranteeing a highly stable environment with regard to climate-related issues. To a large extent, this is a result of the chapel's location on the ground

1. L'arrimador i el parament d'entrada a la capella estan decorats amb aquests marbres fingits, però aquesta policromia original resta actualment oculta sota repintades fetes amb posterioritat. L'estudi dels murals en curs ha permès confirmar la presència d'aquesta decoració, els testimonis de la qual es poden veure en diverses cates efectuades.

1.. The wainscot and entrance wall of the chapel are decorated with this faux marble, although their original polychromy was covered up when they were repainted at a later point. Based on several test cuts, we were able to detect these original decorations.



és favorable el seu emplaçament, ja que el monestir està allunyat del centre de la ciutat i la capella ocupa un espai protegit de l'ambient extern, que resulta molt estable a nivell climàtic. En bona mesura això és gràcies al fet que l'estança se situa a nivell de planta baixa, ocupant l'espai entre dos contraforts de l'església, de tal manera que queda aïllada de l'exterior per murs molt sòlids i pels espais que l'envolten: la galeria del claustre, l'església a la qual està adossada i el pis superior. Malgrat tot, les alteracions hi són presents, i els prop de set-cents anys d'història han deixat empremtes significatives.

Les formes d'alteració estan relacionades d'una manera o altra amb la naturalesa dels materials utilitzats i, més concretament, amb la tècnica pictòrica i la incidència que sobre aquesta exerceixen les condicions ambientals de l'entorn més immediat. Es pot considerar que aquesta tècnica pictòrica és el factor que més ha condicionat l'evolució de l'obra, sobretot si és té en compte que, com molts altres murals d'època medieval, es comença al fresc i es continua al sec i que, per tant, hi ha una presència abundant d'aglutinants orgànics que resulten vulnerables.

En el marc del projecte endegat pel Museu d'Història de Barcelona «La conservació dels murals de la capella de Sant Miquel del Reial

floor between two buttresses supporting the church; consequently, it was isolated from the outside by highly solid walls and by the spaces surrounding it, which included the gallery of the cloister, the church to which it is attached, and the upper floor. Despite these factors, nearly seven hundred years of history left their mark, and numerous alterations can be seen in the chapel.

These alterations are all to some degree related to the materials used and, more specifically, to the painting technique and the impact of the nearby environmental conditions. In fact, the factor that most influenced subsequent alterations was the painting technique itself. This is especially relevant when we bear in mind the fact that – like many other mediaeval mural paintings – the work started with a fresco layer and was finished *a secco*. Consequently, the paintings frequently utilised organic binding agents that turned out to be susceptible to change.

Supervised by the Museu d'Història de Barcelona, the project entitled “The Conservation of the Paintings in Saint Michael's Chapel in the Royal Monastery of Saint Mary of Pedralbes” aims to take a scientific approach to determining the best conservation and treatment options available for this work. In recent years, significant

Vista general de l'interior de la capella amb la pintura mural que representa la Passió de Crist, els Goigs de la Verge i diverses figures de sants, així com el sostre decorat amb la volta celeste

The interior of the chapel. The wall paintings depict the Passion of Christ, the Joys of the Virgin, and various images of saints; the ceiling is decorated to resemble the heavens

Monestir de Santa Maria de Pedralbes», que té com a objectiu decidir sobre una base científica quin és el millor sistema de conservació i de tractament, en els darrers anys s'ha fet un esforç important per conèixer l'obra, el clima i les característiques de l'entorn, com també les relacions existents entre uns i altres.²

El projecte es basa en l'exploració visual exhaustiva feta pel restaurador amb vista a conèixer amb detall l'estat de la superfície de tot el conjunt, és a dir, els materials de què està feta l'obra, la tècnica d'execució emprada i les alteracions. Aquesta tasca s'ha realitzat amb el suport de la lupa binocular i de tècniques no destructives com la fotografia ultraviolada (UV) i infraroja (IR). El conjunt de dades obtingut s'ha contrastat amb les fonts escrites, sobretot els tractats sobre la tecnologia pictòrica i molt en particular *Il libro dell'arte* de Cennino Cennini, però també amb altres documents contemporanis de l'obra, com el contracte establert entre l'abadessa i el pintor Ferrer Bassa. Només en segona instància s'ha fet l'anàlisi d'unes quantes micromostres amb tècniques instrumentals diverses³ i, en aquest moment, s'està aprofundint en l'avaluació de dades i la diagnosi amb el suport d'un equip d'especialistes en diverses disciplines amb el qual es treballa la relació entre tècnica i deteriorament.

La tècnica i els procediments d'execució

La tècnica dels murals de la capella de Sant Miquel s'insereix en l'arquitectura que els sosté, que en aquest cas són els sòlids paraments de l'església del monestir, d'uns seixanta centímetres de gruix, i dos dels seus contraforts, de 120 centímetres, un dels quals té un petit podi o basament amb un lleuger cornisament. Són murs de doble fulla amb reblert, i a la cara externa tenen un encintat que segella perfectament les juntes i evita l'entrada d'aigua a l'interior.⁴ En canvi, el pany d'entrada, a di-

energy has been invested in learning more about the piece, the climatic conditions and characteristics of the environment in which it is located, and the link between these factors.²

Currently, the restorer is in the midst of carrying out an exhaustive visual examination of the work in order to derive a detailed understanding of its entire surface, including the materials and technique used and the subsequent alterations that have taken place. This research was carried out using a binocular loupe and non-destructive techniques including ultraviolet (UV) and infrared (IR) photography. We compared the data we compiled with written sources, looking at treatises on painting technology, especially Cennino Cennini's *Il libro dell'arte*. We also examined other contemporaneous documents, including the contract entered into by the abbess and the painter, Ferrer Bassa. Later, we analysed several microsamples using a variety of techniques.³ At the current moment, we are delving deeper into the data we have collected and assessing the work with the assistance of a multidisciplinary team of experts in order to examine the relationship between the technique employed and deterioration that has occurred.

The painting technique

The technique utilised in Saint Michael's Chapel was based on the architecture of the space, namely the church's solid, 60-cm-thick walls and the two 120-cm-thick buttresses, one of which has a small pedestal base with a minor entablature. The perfectly sealed joints in the filled cavity walls' external face prevented water from getting into the building.⁴ The entry wall differs from the others, and is constructed of 8-cm-thick solid brick.

2. En aquest sentit es pot consultar el web del projecte «Murals sota la lupa. La conservació de les pintures de la capella de Sant Miquel del Reial Monestir de Pedralbes», on hi ha el resum de la tasca realitzada i els articles publicats fins al moment: <<http://www.bcn.cat/monestirpedralbes/Murals-sota-la-lupa-Monestir-Pedralbes/ca/>>.

3. Les tècniques d'estudi utilitzades són: microscòpia òptica amb llum polaritzada, incident i transmesa; llum halògena i llum UV (tincions selectives i assajos microquímics); espectroscòpia infraroja per transformada de Fourier (FTIR per transmissió i FTIR-ATR); cromatografia de gasos - espectrometria de masses (GC-MS); cromatografia en capa fina d'alta resolució HPTLC; microscòpia electrònica d'escombratge - microanàlisi mitjançant espectrometria per dispersió d'energies de raigs X (SEM-EDXS).

4. Les especificitats constructives de l'església de Pedralbes, com també les d'altres basíliques barcelonines, es recullen en l'article: Màrius VENDRELL, Pilar GIRÁLDEZ,

2. For more information, please see the website "Murals in the spotlight: Conservation of the paintings in Saint Michael's Chapel. Monastery of Pedralbes," which summarises the work done and articles published to date. <http://www.bcn.cat/monestirpedralbes/Murals-sota-la-lupa-Monestir-Pedralbes/en/>.

3. We used the following techniques: transmitted and incident polarised light microscopy; halogen and UV light (selective staining and microchemical tests); Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR transmission and ATR-FTIR); Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); high performance thin layer chromatography (HPTLC); and Scanning Electron Microscope - Energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM - EDXS).

4. For details about the techniques used to build the Pedralbes church - as well as the other basilicas in Barcelona - see Màrius VENDRELL, Pilar GIRÁLDEZ, Reinald GONZÁLEZ, Francesc CABALLÉ, Pere ROCA, «Les basíliques gòtiques barcelonines: trets comuns i diferencials», *El gòtic meridional català: cases, esglésies i palaus*. Barcelona, Clavell Cultura, 2009, p. 85.



ferència dels anteriors, és un envà fet de maó massís d'uns vuit centímetres de gruix.

Tot l'interior de la capella està revestit, com la resta de paraments del monestir, amb un enlluït blanc, molt ben lliscat, fet de calç i àrid. Aquest arrebossat primigeni sembla tenir la mateixa composició que el morter de l'espai adjacent, la tomba de la reina Elisenda, un morter de calç que conté pols de marbre de granulometria fina i algun gra de quars i jaspí.⁵ A la capella està format per dues capes de composició molt similar: la interna té un gruix d'uns quatre mil·límetres i l'externa, un enlluït d'un mil·límetre escàs i la superfície perfectament lliscada, fet que confirma la seva funció de revestiment final.

El dibuix preparatori o sinòpia es va fer aprofitant aquesta superfície blanca impecablement lliscada, emprant pigments de color ocre groc i vermell, aplicats a pinzell i utilitzant la llinyola per traçar, prèviament, les línies mestres. A continuació es va repicar a martell per facilitar l'adhesió del nou morter estès a *giornate* per fer la pintura al fresc.

Reinald GONZÁLEZ, Francesc CABALLÉ, Pere ROCA, «Les basíliques gòtiques barcelonines: trets comuns i diferencials», *El gòtic meridional català: cases, esglésies i palaus*. Barcelona, Clavell Cultura, 2009, pàg. 85.

5. A manca de confirmar la composició precisa del morter de la capella, disposem de les anàlisis de micromostres realitzades per CETEC Patrimoni en relació amb la tomba de la reina i que han estat observades *de visu* a la capella: CETEC PATRIMONI, «Estudi analític per a la determinació dels materials i de la tècnica pictòrica del monument funerari de la Reina Elisenda de Montcada. Monestir de Pedralbes» (inèdit, dipositat al Reial Monestir de Santa Maria de Pedralbes).

Like the other walls of the monastery, the entire chapel interior is covered with a coat of extremely smooth white plaster made of lime and aggregate. The composition of this underlying mortar seems to be the same as that of the mortar used in the tomb of Queen Elisenda, a space which lies alongside the chapel, namely lime with finely granulated marble powder and a bit of quartz and jasper.⁵ The chapel contains two very similar layers of mortar. The inner layer is four millimetres thick and the outer layer is barely one millimetre thick and perfectly smooth, confirming that it served as an outer coating.

The *sinopia* (preparatory design) was done on top of this impeccably smooth surface. A snap line was used to trace the designs and yellow ochre, and red pigments were subsequently applied using a paintbrush. Next, the plaster was roughened to make it easier to apply the mortar for the new *giornate*, which would be painted using the fresco technique. This plaster coat is approximately four millimetres thick and is comprised of lime; the silicon aggregate contains a more varied assortment of minerals than the underlying layer, and also has small

5. Although we did not test the exact composition of the mortar in the chapel, a visual observation corroborated the results CETEC Patrimoni found in analysing microsamples from the tomb of the queen. See CETEC PATRIMONI, «Estudi analític per a la determinació dels materials i de la tècnica pictòrica del monument funerari de la Reina Elisenda de Montcada. Monestir de Pedralbes» (unpublished, available at the Monastery of Saint Mary of Pedralbes).



Desplegament de la capella amb la reconstrucció de la decoració de marbres fingits de l'arrimador, obtinguda a partir de les dades de l'estudi

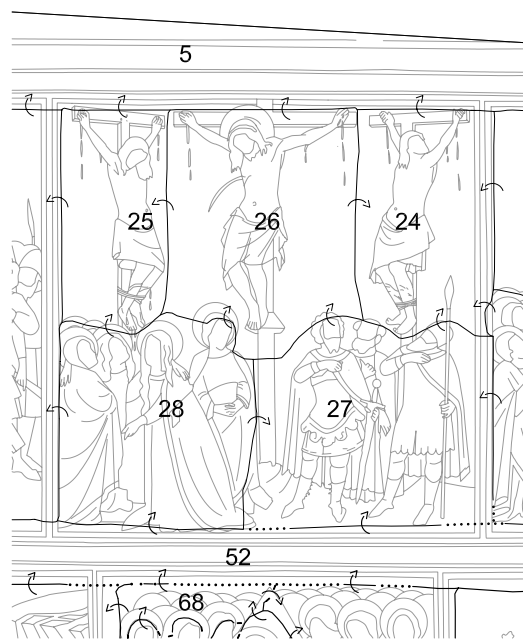
Reconstructed view of the chapel with faux marble wainscot. Data from the study were used to create this image

L'enlluït que rep la pintura té un gruix d'uns quatre mil·límetres i és de calç, i conté àrids, de tipus silici, amb un assortiment més variat de minerals que l'estrat preexistent. A més, s'hi observen petits percentatges d'impureses procedents del terreny d'on prové l'àrid, en forma de mica.

Segons l'estudi realitzat, els murals es van executar en 113 *giornate*⁶ i després es van prosseguir al sec emprant diversos procediments (trepmp, oli assecant i altres tècniques o combinacions encara per identificar) i nombroses aplicacions de làmines metàl·liques (daurades i platejades). Tot el programa decoratiu respon a una planificació prèvia perfecta, en la qual s'estableix fer unes parts al fresc i reservar-ne d'altres per fer-les al sec en funció, sobretot, de la compatibilitat dels pigments que es volen utilitzar amb la calç. El sec, de vegades, s'estén sobre una base prèviament pintada al fresc (blaus d'atzurita, veladures) i també algunes làmines metàl·liques.⁷

6. Rosa SENSERRICH, Lídia FONT, «La planificació del treball al fresc en les pintures que decoren la cel·la de Sant Miquel del Monestir de Pedralbes», *Quaderns tècnics del MHCB*, 2, 2007, pàg. 24-43.

7. Els blaus d'atzurita s'estenen sobre dos tipus de fons o bases diferents (de color gris per als cels i de vermellós per als motius geomètrics de la sanefa). Alguns motius dels vestits estan pintats al fresc amb un roig òxid de ferro i completats al sec amb to vermelló, o els colors verds clars dels mantells, que estan acabats amb una laca de tonalitat més càlida. Així mateix, les làmines metàl·liques d'alguns nimbes s'apliquen sobre una base ocre pintada al fresc, com també les transparències d'alguns motius de la indumentària dels personatges més destacats. Aquestes veladures es treballen, indistintament, sobre bases fetes al



Delimitació de les cinc *giornate* amb què es va executar l'escena de la Crucifixió, amb la numeració que indica l'ordre amb què es concatenen

The five *giornate* depicting the Crucifixion; numbers reflect the order in which the sections were connected

percentages of impurities (mica) as a result of the source of the aggregate.

Our study revealed that the paintings were spread out over 113 *giornate*.⁶ Afterwards, a second *a secco* layer was added using a variety of techniques (tempera, drying oils, and other techniques and combinations we have yet to identify) and gold and silver metal leaf was applied. The decoration reflects a perfectly planned design whereby some portions of the paintings would be painted using the fresco

6. Rosa SENSERRICH, Lídia FONT, "Fresco Work Plan in the Paintings of the Saint Michael's Cell at Pedralbes Monastery", *Quaderns tècnics del MHCB*, 2, 2007, p. 24-43.

Tant al fresc com al sec, la pintura es realitza majoritàriament per capes i seguint la premissa tècnica d'aplicació de gras sobre magre, que garanteix una bona adhesió.

En l'aplicació al fresc se segueixen també pautes per aconseguir els efectes desitjats, com ara pintar els rostres amb *verdaccio* de les dues maneres que recull Cennino Cennini en el seu tractat.⁸

Les capes de pigment diluït en aigua o mesclades amb una mica de *bianco di San Giovanni*⁹ (blanc de calç) se succeeixen damunt el morter humit i en conjunt donen un fresc amb una certa pastositat, tal com es pot observar precisament als rostres, que es conserven en unes condicions òptimes. Pel que fa a la pintura al sec, en aquestes pintures murals es treballa amb una gran riquesa de procediments que impliquen la presència de diversos materials orgànics que, en alguns llocs, arriben a adquirir un gruix i una densitat considerables. Els materials orgànics que ha estat possible determinar són:¹⁰ l'oli de llinosa, elements proteics d'origen animal i resines terpèniques entre les quals s'ha identificat la colofònia.

No es poden descartar les mescles de l'oli amb altres substàncies per formar tremps

fresc o al sec, i en capes molt primes.

8.«Poi abbi un pennello aghuzo di vaio, e va' rifermando bene ogni contorno, naso, occhi, labri e orecchie, di questo verdaccio. Alchuni maestri sono che adesso, staendo il viso in questa forma, tolghono un poco di bianco sangiovanni stemperato con acqua e vanno cerchando le sommità e rilievi del detto volto, bene per ordine; poi danno una rossetta ne'labri, e nelle ghote chotali meluzine; poi vanno sopra con un poco d'acquerello, cioè incharnazion ben liquida, e rimane colorito, tochandolo poi sopra i rilievi d'un pocho di bianco. È un buon modo. Alchun campeggia il volto d'incharnazione prima, poi vanno ritrovando con un poco di vedaccio e incarnazione, tochandolo con alchuno bianchetto; e riman fatto. Questo è un modo di quelli che sanno pocho dell'arte; ma tteni questo modo di ciò che tti dimosterrò del colorire, però che Giotto, el gran maestro, tenea chosi». Cennino CENNINI, *Il libro dell'arte*, a cura di Fabio Frezzato, Vicenza, Neri Pozza Editori, 2003, LXVII, pàg. 114.

9. El *bianco di San Giovanni* és un pigment blanc, imprescindible per a la pintura al fresc del Trecento, emprat sol o barrejat amb altres pigments per fer gradacions cromàtiques. Es fabricava a partir de la calç amarada, amassant-la en forma de petits panets i deixant-la assecar a la intempèrie. La seva composició, bàsicament carbonat de calç, contenia també diferents percentatges d'hidròxid de calç, el qual conservava el seu caràcter lligant i afavoria una mínima carbonatació dels pigments amb què es mesclava.

10. En aquest sentit, són prou conegudes les dificultats per a la determinació precisa dels lligants orgànics a causa de l'envelliment dels materials, la presència de mescles de més d'un aglutinant o les aplicacions posteriors d'altres productes que emmascaren els materials originals. Per anar obrint camí s'han analitzat les imatges obtingudes de la fluorescència induïda per UV (amb làmpades UV Osram i càmera Linhof Technika amb filtre Kodak Wratten 2E, groc) i s'han realitzat anàlisis d'algunes micromostres amb diverses tècniques instrumentals.

technique and others would later be painted *a secco*; this approach was based especially on whether or not the pigments to be used were compatible with lime. Sometimes both the *a secco* layer and metal leaf were applied on top of a fresco layer (azurite blue, glazes).⁷

For both fresco and *a secco* painting, the majority of paint was applied in layers. The "fat over lean" approach was used to ensure good paint stability. The fresco sections were also based on technical guidelines; for example, faces were painted with *verdaccio* in the two ways Cennino Cennini describes in his treatise.⁸

These layers of pigments were diluted in water or mixed with a bit of *bianco di San Giovanni*⁹ (lime white) and applied on the wet plaster. In general, they provided a fresh, somewhat thicker appearance, as we can see in the faces, which have been excellently preserved. The *a secco* portions of these murals were painted using a rich variety of processes which utilised various

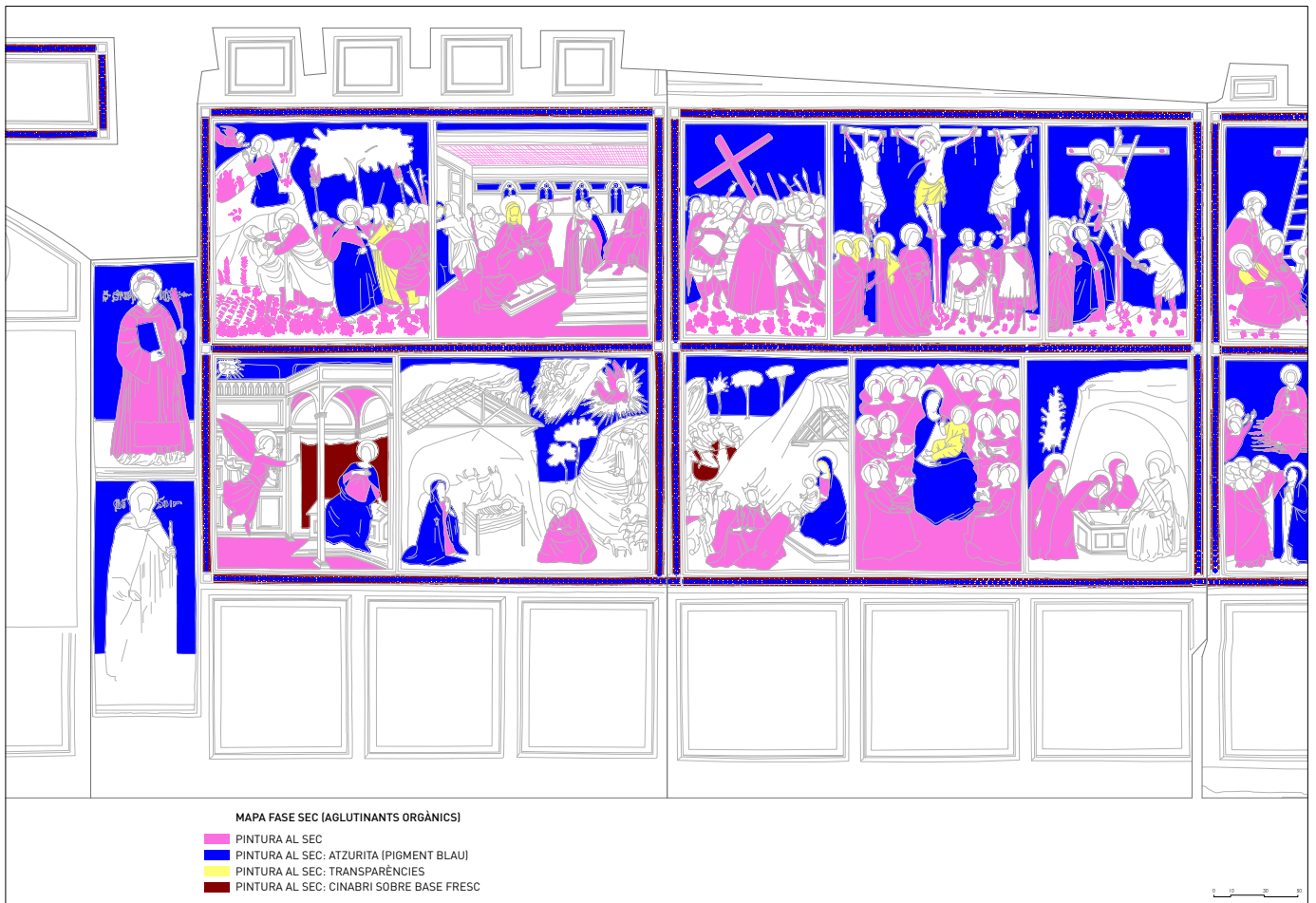
7. Azurite blues were applied over two different undercoats or background layers (a grey layer in the case of the ceilings and a yellowish layer for the geometric motifs of the friezes). Some clothing motifs were painted in fresco using a red iron oxide and finished *a secco* with vermilion. The light green of the cloaks was embellished with a warmer-coloured lake. The metal leaf in some aureoles was also applied to an ochre undercoat that had been painted in fresco; this was also the case with the transparent glaze in some motifs in the most important figures' apparel. All of these glazes were applied very thinly over layers painted using both the fresco and *a secco* techniques.

8.«Poi abbi un pennello aghuzo di vaio, e va' rifermando bene ogni contorno, naso, occhi, labri e orecchie, di questo verdaccio. Alchuni maestri sono che adesso, staendo il viso in questa forma, tolghono un poco di bianco sangiovanni stemperato con acqua e vanno cerchando le sommità e rilievi del detto volto, bene per ordine; poi danno una rossetta ne'labri, e nelle ghote chotali meluzine; poi vanno sopra con un poco d'acquerello, cioè incharnazion ben liquida, e rimane colorito, tochandolo poi sopra i rilievi d'un pocho di bianco. È un buon modo. Alchun campeggia il volto d'incharnazione prima, poi vanno ritrovando con un poco di vedaccio e incarnazione, tochandolo con alchuno bianchetto; e riman fatto. Questo è un modo di quelli che sanno pocho dell'arte; ma tteni questo modo di ciò che tti dimosterrò del colorire, però che Giotto, el gran maestro, tenea chosi». Cennino CENNINI, *Il libro dell'arte*, a cura di Fabio Frezzato, Vicenza, Neri Pozza Editori, 2003, LXVII, p. 114. (Cennino CENNINI, *The Craftsman's Handbook. The Italian "Il Libro dell'Arte"*. Translated by Daniel V. Thompson, Jr. New York: Dover Publications, Inc. 1933).

9. *Bianco di San Giovanni* is a white pigment. It was a crucial part of 14th-century fresco paintings, where it was used on its own or mixed with other pigments to produce shades of colours. It was produced from slaked lime, which was formed into small cakes and left to dry in the open. Comprised predominantly of calcium carbonate, it contained varying percentages of calcium hydroxide, which helped it to serve as a binding agent and minimised carbonatation of the pigments with which it was mixed.

Mapa de les àrees pintades al fresc i al sec, respectivament. Les zones pintades amb tècnica mixta apareixen tan en una fase com en l'altra

Map of the fresco and *a secco* sections. Areas painted with both techniques appear in both phases



PRODUCTES ORGÀNICS / ORGANIC MATERIALS

<p>OLI DE LLINOSA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usat com a aglutinant de pigments i laques, i puntualment, com a estrat aïllant entre colradures i capes pictòriques als esgrafiats sobre làmines metàl·liques. • Adhesiu entre les làmines metàl·liques dobles (estany-plata). • Component principal de l'adhesiu oleoresinós que fixa les gruixudes làmines metàl·liques d'estany a la superfície mural. 	<p>LINSEED OIL</p> <ul style="list-style-type: none"> • It was used as a binder for pigments and lakes, and from time to time, as an insulant between gold-tinted varnish (yellow glazing) applied over metal leaf and the pictorial layer for the sgraffiti on metal leaf. • It was also used to bind sheets of tin and silver leaf. • It was the primary component in the oleoresinous adhesive used to attach the thick tin leaf to the painted surface.
<p>ELEMENTS PROTEICS D'ORIGEN ANIMAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usats com a aglutinants de pigments i com a adhesius de les làmines metàl·liques simples i fetes amb metalls nobles (plata i or). 	<p>ANIMAL PROTEINS</p> <ul style="list-style-type: none"> • They were used to bind pigments and attach noble metal leafs (silver and gold).
<p>RESINES TERPÈNIQUES SENSE ESPECIFICAR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Component de les colradures aplicades sobre algunes làmines metàl·liques. 	<p>UNIDENTIFIED TERPENE RESINS</p> <ul style="list-style-type: none"> • They were used as part of the gold-tinted varnish (yellow glazing) applied to some metal leaf.
<p>RESINES TERPÈNIQUES: COLOFÒNIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificada com a segon component de l'adhesiu oleoresinós que adhereix les làmines metàl·liques d'estany –més gruixudes– a la superfície mural. • Identificada, puntualment, com a capa aïllant entre estrats pictòrics i les laques verdes aplicades al damunt. 	<p>TERPENE RESIN: GREEK PITCH</p> <ul style="list-style-type: none"> • It was the second ingredient in the oleoresinous adhesive used to affix the thicker tin leaf sheets to the painted surface. • It was occasionally used as an insulating layer between pictorial layers and the green lakes applied to them.

Imatge de la fluorescència visible induïda per radiació ultraviolada de l'escena del Triomf de la Verge. Les diferències de color i intensitat orienten sobre la presència de productes orgànics corresponents a la pintura original i als retocs posteriors

Ultraviolet-induced visible fluorescence image of the Triumph of the Virgin. Colour and intensity differences reflect organic products in the original painting and in subsequent touch-ups

grassos,¹¹ ni la presència d'algun altre aglutinant orgànic encara per determinar, com podria ser el que lliga el colorant blau d'indi amb el qual es pinten plantes i delicats motius vegetals.

S'ha de fer esment de la identificació de l'oli de llinosa en alguns estrats superiors dels vestits i mantells d'alguns personatges pintats amb la tècnica de superposició de capes: l'emprimació acolorida inferior s'acaba d'ajustar amb l'aplicació d'una veladura a sobre, que li aporta un cromatisme més ric i sofisticat. Aquests estrats semitransparents o laques estan fets amb colorants vermells o pigments verds de diferents tonalitats, probablement molts en oli de llinosa,¹² i aplicats sobre unes

organic materials; these tend to be rather thick and dense in some places. We identified the following organic materials in the work:¹⁰ linseed oil, animal proteins, and terpene resins including Greek pitch.

Oil was also mixed with other substances to make thick tempera.¹¹ Furthermore, the paintings contain other organic binding agents we have yet to identify, such as the one mixed with indigo blue to paint plants and delicate plant motifs.

It should be noted that linseed oil was used in some of the upper layers of the clothing and cloaks worn by figures painted using various superimposed layers; the coloured

10. The challenges entailed in determining the exact composition of organic binding agents are well known; they are related to the ageing process of different materials, the use of mixtures including more than one thickener, and later applications of products which covered up the original materials used. To help unravel some of these challenges, we analysed the images collected using UV fluorescence (with Osram UV lamps, a Linhof Technika camera and a pale yellow Kodak Wratten 2E filter) and tested microsamples using several instrumental techniques.

11. In fact, our analysis of the joint cover strips in the chapel's beams reveal evidence of such a mixture of materials. The rafters and walls were painted at the same time and so a highly similar painting technique was used. For example, lime white was applied to the edges of the beams. Consequently, we can assume that the substances identified on the beams could also have been used on some parts of the walls.

11. De fet, les anàlisis de la tècnica emprada als tapajunts de l'embigat de la capella donen aquesta mescla de materials. L'embigat i els murals es fan al mateix temps, de manera que la pintura sobre fusta té moltes connexions amb allò que es fa al mur. A les arestes de les bigues, per exemple, s'hi aplica el blanc de calç. Per tant, es pot suposar que, a la inversa, el que es detecta a les bigues podria haver estat aplicat, en part, als murs.

12. El tractat de Cennini recull, en diferents capítols, l'ús de l'oli de llinosa com a medi per moldre qualsevol pigment que serà aplicat amb el procediment a l'oli. També s'utilitza l'oli de llinosa per moldre el verd de coure i poder executar veladures sobre làmines d'estany o per moldre pigments assecants i preparar, afegint-hi una mica de vernís, els mordents adequats per adherir làmines fines d'or o plata. CENNINI, *Il libro...*, LXXXXIII, pàg. 131, LXXXXVIII, pàg. 134, CLI, pàg. 173-175.



bases opaques de tonalitats diverses (blanques, vermelles, verd-blavoses).

En el cas de les laques verdes, s'ha constatat que el pigment verd de coure¹³ amb el qual estan confeccionades no està, *a priori*, mesclat amb cap resina, com ocorre amb el color conegut tradicionalment com a «resinat de coure», utilitzat profusament per fer veladures en la pintura de cavallet als segles XV i XVI. Actualment, però, se sap que aquest color es podia obtenir barrejant el *verdigris* amb diferents medis, no solament resinosos, sinó també amb barreges d'olis i resines o solament amb olis, com podria ser aquest cas. Alguns autors¹⁴ han identificat un verd d'aspecte transparent i de caràcter resinós en manuscrits il·luminats dels segles VIII al XV. La recepta del capítol CLI del tractat de Cennini per a l'elaboració d'un mordent en calent sembla seguir el mateix procés que el d'obtenció del resinat de coure, la qual cosa fa pensar que possiblement ja es coneixia abans del segle XV.

Hi ha indicis que algunes terres vermelles van ser aplicades al sec amb un aglutinant proteic, la qual cosa demostraria el coneixement

primer underneath was finished off with a layer of glaze, imbuing it with a richer, more sophisticated colour palette. These semi-transparent layers and lakes were made using a variety of shades of red colourants and green pigments, which were probably ground up and mixed into linseed oil.¹² These were applied over opaque bases in a variety of hues (including whites, reds and blue-greens).

We found that the *verdigris*¹³ pigment used to make green lakes was not *a priori* mixed with resins, as is the case with the colour traditionally known as copper resinate, which was used extensively as a glaze in 15th and 16th century easel painting. We now know that this colour could be obtained by mixing *verdigris* with a variety of different media, including not only resins but also oil and resin mixtures and oil itself, which may have been the case in this work. Some authors¹⁴ have

13. El verd de coure o *verdigris* és un pigment que no té una única composició química, sinó que pertany a la família dels acetats de coure, amb lleugeres variacions i canvis de tonalitat —verds més freds o més càlids— segons els components que intervenen en el seu procés d'obtenció.

14. Arthur P. LAURIE, *The Pigments and Mediums of the Old Masters*. Londres, Macmillan and Co., Ltd., 1914, pàg. 35-39; François FRIEDLER, «Mise au point des techniques d'identification des pigments et des liants inclus dans la couche picturale des enluminures des manuscrits», *Studies in Conservation*, XIII, 2, 1968.

12. In several chapters, Cennini discusses how nearly every pigment to be applied using linseed oil can be ground with this oil. Linseed oil could also be used to grind copper green, glaze sheets of tin or grind drying pigments. A bit of varnish was added to prepare the mordant needed to affix thin gold or silver leaf. CENNINI, *Il libro*, LXXXIII, p. 131, LXXXVIII, p. 134, CLI, p. 173-175.

13. *Verdigris* (copper green) belongs to the family of copper acetates and can have a varying chemical composition. The elements used to make each copper acetate give rise to small variations in colours and hues, producing cooler or warmer greens.

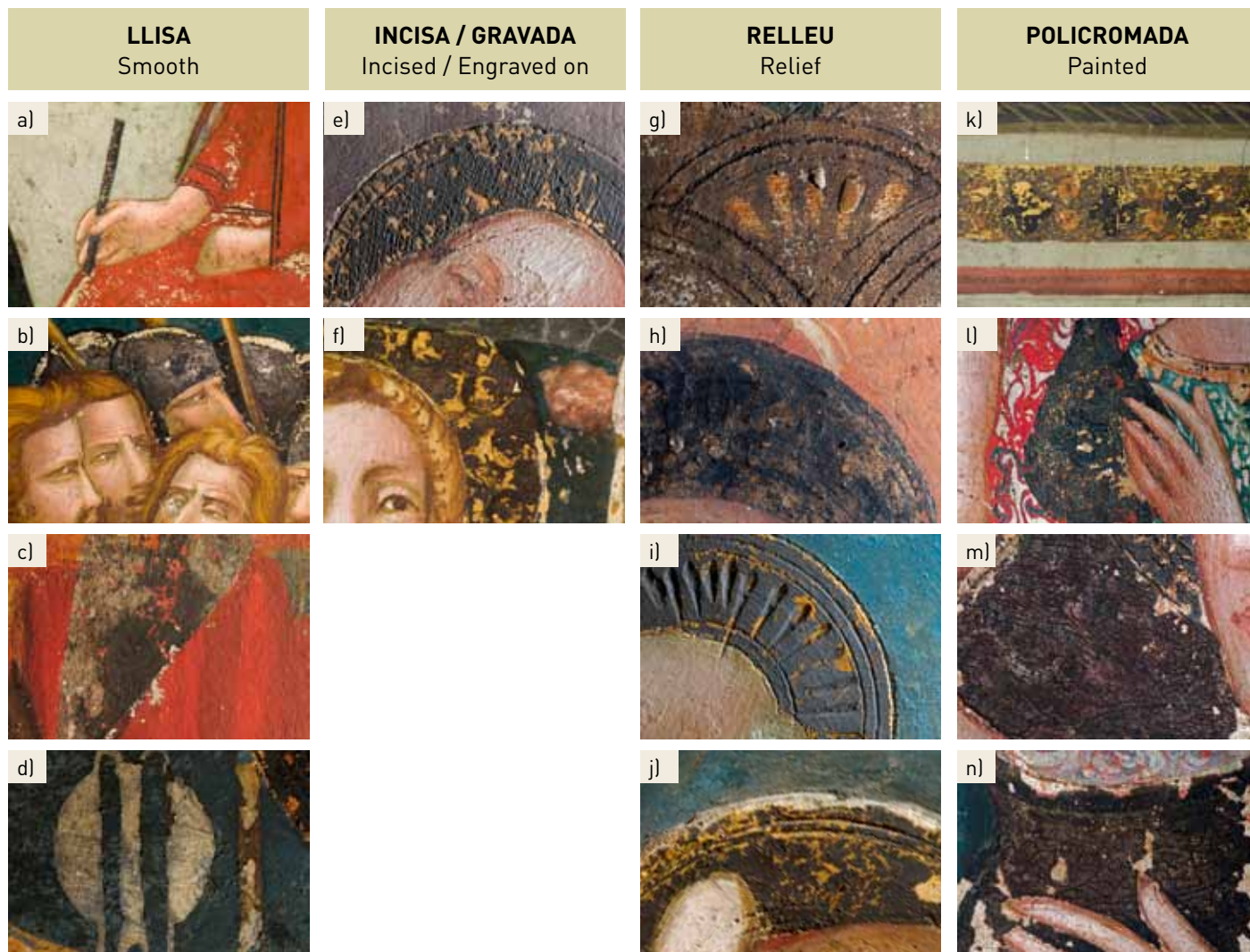
14. Arthur P. LAURIE, *The Pigments and Mediums of the Old Masters*, London, Macmillan and Co. Ltd., 1914, p. 35-39; François FRIEDLER, "Mise au point des tech-

LES LÀMINES METÀL·LIQUES / METAL LEAVES

Tipus de làmines / Type of leaves

DAURAT Gold gilding	PLATEJAT Silver gilding
Doble làmina Sn /Ag - colrada <i>Double leaf Sn /Ag - varnished</i>	Doble làmina Sn/Ag <i>Double leaf Sn /Ag</i>
Làmina simple Ag - colrada <i>Single leaf Ag - varnished</i>	Làmina simple Ag <i>Single leaf Ag</i>
Làmina simple Au <i>Single leaf Au</i>	Làmina simple Sn <i>Single leaf Sn</i>

Maneres de treballar les làmines / Different techniques for working on metal leaf



a, b, c, d) Làmina metàl·lica llisa: amb o sense colra

e) Treball amb punta dura que multiplica els reflexos de la llum

f) Marques gravades amb un punxó de punta circular

g) Rajos d'un nimbe fets a motlle i aplicats després sobre el mur amb un adhesiu

h) Relleu –molt poc pronunciat– fet a base d'unes pinzellades fetes amb calç fluida per simular uns rajos del nimbe. Després s'adhereix una fina làmina de plata colrada

i) Superfície en relleu en negatiu obtingut mitjançant la pressió amb un bastonet

j) Cas únic de nimbe fet en relleu amb morter de calç i sorra (Sant Esteve) que sobresurt uns 6 mm. de la superfície mural

k) Sanefa que s'adhereix: làmina d'estany colrat que ha estat prèviament decorada amb uns motius quadrilobats pintats vermells i negres

l) Motius quadrilobats pintats en negre sobre làmina d'estany

m, n) Esgrafiats: la policromia aplicada a l'oli sobre l'estany ha estat raspada amb una punta fina: les ales dels àngels a l'escena del Triomf de la Verge, gerres que porten els àngels de l'escena del Triomf de la Verge

a, b, c, d) Smooth metal leaf: varnished or not

e) Incised lines which multiply reflections created using a stylus

f) Marks made with a circular punch on metal

g) Moulded relief applied to the wall using an adhesive to simulate rays around the aureole

h) Very minimal relief made with weak lime brushstrokes and applied using a paintbrush to simulate rays around the aureole. Later, thin silver leaf was varnished to these.

i) Area with negative relief created by pressing with cotton wool and following a radial design

j) A single aureole relief made with lime and sand mortar (Saint Stephen); the relief protrudes 6 mm from the wall

k) Decorative frieze of the architecture. Tin leaf was decorated with red and black quadrilobate motifs and affixed to the frieze

l) Red and black quadrilobate motifs on tin leaf

m, n) Sgraffito where the polychrome applied to oil on tin was scratched using a thin point. This is visible in the wings of the angels in the scenes depicting the Triumph of the Virgin and in the enamel on metal in the jars carried by the angels in the Triumph of the Virgin

Taula amb les diferents maneres de treballar les làmines metàl·liques dobles i simples

Table: Different techniques for working on single and double metal leaf

ment de la incompatibilitat d'aquest pigment amb els olis assecants, perquè els components metàl·lics del ferro no es mesclen bé en l'oli i són assecants pobres o dèbils que s'hidrolitzen al marge de quines siguin les condicions ambientals. També hi ha indicis d'un material proteic per treballar al tremp als estrats fets amb atzurita, i molt probablement en molts detalls acabats al sec.

Els daurats i platejats són un compendi de tota mena de recursos decoratius que donen idea de la gran riquesa d'aquests murals a l'hora de destacar les decoracions dels teixits i les arquitectures o per simular objectes de metall. S'obtenen, majoritàriament, amb làmines d'estany soles o com a suport d'una làmina més prima de plata, essent l'adhesiu que les uneix entre si l'oli de llinosa.¹⁵ La doble làmina d'estany-plata de vegades està envernissada, probablement amb una colradura, per simular l'or, com a la major part dels nimbes i alguns filets decoratius que perfilen les vores dels mantells. No obstant, en el cas dels nimbes el tractament de relleu de la capa subjacent amplia la varietat d'efectes òptics que s'aconsegueixen amb l'aplicació del metall.

Algunes d'aquestes maneres de treballar el relleu —utilitzant el pinzell, la punta metàl·lica o el punxó— ens remetent al procés d'execució de les decoracions rellevades dels retauls, com també a l'ús poc habitual d'adhesius aquosos per a l'aplicació de les làmines metàl·liques més primes: ho veiem a les lletres daurades dels noms dels sants o els cascs de plata dels soldats, en diverses escenes del cicle de la Passió. En canvi, sota les puntes de les llances —elaborades amb làmina d'estany simple, retallada, adherida al mur i treballada després amb punta metàl·lica— s'entreveu la gruixuda capa de l'adhesiu oleoresinós que es va emprar per fixar el metall a la superfície.

No totes les làmines metàl·liques primes (or i plata), però, semblen haver estat aplicades utilitzant adhesius aquosos. En ocasions especials, com en l'escena del Triomf de la Verge, l'aspecte d'algunes decoracions molt delicades (per exemple, el fil que subjecta l'ocellet del nen Jesús) semblen estar fetes seguint les indicacions del capítol CLI del llibre de Cen-

15. Cennini parla d'un líquid que denomina *doratura* per adherir el full d'or fi sobre la làmina d'estany. Per la seva descripció, sembla que es tracta d'un mordent que s'ha de deixar assecar bastant abans de superposar-hi la segona làmina metàl·lica. No descriu en cap moment la seva composició. En canvi, uns quants capítols enrere, fa referència a un mordent fet amb una lliura d'oli de llinosa a la qual s'hi afegeix una onça de vernís líquid. El resultat és un bon oli per fer mordents. CENNINI, *Il libro...*, LXXXXVIII, pàg. 134-135, LXXXXXI, pàg. 130.

identified a transparent, resinous green in 8th to 15th century illuminated manuscripts. In chapter 151 of his treatise, Cennini sets out a recipe for making mordant using warm oil that appears to follow the same approach used for copper resinate, leading us to believe that the technique for obtaining it may have been known before the 15th century.

It appears that some green earth pigments were applied *a secco* using a protein-based binding agent, demonstrating that this pigment was not compatible with drying oils, since the metallic components in iron do not mix well in oil and are poor, weak drying agents that hydrolyse in some environmental conditions. Moreover, it seems that a protein-based material was utilised for tempera work on layers painted with azurite; it is also likely that these were used in much of the *a secco* detail work.

A wide variety of decorative approaches were employed for the gold and silver accents, underscoring Bassa's wealth of techniques for enhancing fabrics and architectural features and creating the appearance of metal. In general, these effects were created using tin leaf on its own or a thin layer of silver leaf attached to tin leaf using linseed oil.¹⁵ The tin-silver double layer was sometimes varnished, probably with gold-tinted varnish, to simulate gold; this is the case in most of the aureoles and in some gilded decorations on the edges of cloaks. In the aureoles, the range of possibilities for treating the underlying layer increased the number of visual effects that could be created using metal leaf.

Some of these techniques for working on reliefs — using a paintbrush, stylus or punch — bring to mind the process used for decorative reliefs on altarpieces. For example, in both cases, watery adhesives were used to apply thinner metal leaf, a practice which was not particularly common. We can see this in the golden letters in the saints' names or the soldiers' silver helmets in various scenes from the Passion series. On the other hand, we can see the thick layer of oleoresinous adhesive

niques d'identificació des pigments et des liants inclus dans la couche picturale des enluminures de manuscrits", *Studies in Conservation* (London), XIII, 2, 1968.

15. Cennini discusses using a liquid he refers to as *doratura* ("gold size") to affix gold leaf to a sheet of tin. Based on his description, it seems that this mordant needed to be left to dry for a long time before affixing the second sheet of metal leaf. Cennini never explains how this is made. However, a few chapters earlier, he discusses a mordant made with one ounce of liquid varnish for every pound of linseed oil, which produces a good oil for making mordants. CENNINI, *Il libro*, LXXXXVIII, p. 134-135, LXXXXXI, p. 130.

nini, on l'elaboració en calent d'un mordent oliós serveix per realitzar treballs molt subtils, pinzellades molt fines que, un cop assolit el grau just d'assecatge, són recobertes amb fulles impalpables d'un metall noble i adaptades posteriorment a la superfície pressionant amb una mica de cotó.

Els teixits llavorats per imitar les teles brocades utilitzant fils metàl·lics també estan decorats amb làmines de metall. En són alguns exemples la túnica de la Verge a l'escena del Coronament; els cortinatges de l'Anunciació i la tela del fons; les decoracions de l'escot, mànigues i cisa dels vestits dels àngels de l'escena més ricament ornada, el Triomf de la Verge. Les tècniques d'aplicació de les làmines metàl·liques emprades pels brocats són dues:¹⁶ en una, l'adhesiu s'aplica sobre la superfície mural amb un pinzell fi, perfilant acuradament els motius que aniran recoberts pel full d'or (com s'ha descrit abans) i en l'altra, la làmina d'estany, retallada apart amb la forma corresponent, porta incorporat al darrere l'adhesiu oleoresinós que serveix per fixar-la directament al mur.

A les pintures de la capella, la làmina d'or apareix més esporàdicament i sempre a base d'un aliatge de molt baixa qualitat,¹⁷ per fer els noms que acompanyen les figures dels sants i, molt probablement (segons apreciacions visuals), en les decoracions tèxtils dels àngels de les escenes més destacades: el Coronament i el Triomf de la Verge. Referent als noms dels sants, la capa que es troba sota la làmina d'or i que dibuixa, amb cal·ligrafia gòtica, els traços de les lletres sobre el fons blau, està composta bàsicament de blanc de plom, sense que s'hi hagi pogut detectar l'aglutinant que acompanya el pigment. La majoria d'aplicacions metàl·liques corresponents als nimbes dels personatges sagrats estan fetes sobre una base pictòrica subjacent de color ocre; a la resta, el metall està en contacte amb el morter blanc.

16. CENNINI, *Il libro...*, LXXXXVI a C, pàg. 133-135.

Cennini, en diversos capítols del seu tractat, explica abastament aquest dos sistemes. Pensem que l'adhesiu incorporat al revers de la làmina d'estany, prèviament retallada sobre una fusta preparada amb el que ell denomina *vernís líquid* (possiblement una barreja d'oli de llinosa i una resina terpènica, amb l'adició o no de gomes, ja que en l'època medieval n'hi havia nombroses fórmules), ha de diferir bastant de l'adhesiu-mordent que s'aplica directament sobre el mur amb un pinzell, el qual ha de ser molt més fluid, per poder dibuixar amb ell les fines línies i filigranes de les decoracions tèxtils.

17. L'aliatge d'aquesta fina làmina daurada és el següent: 39% Au - 40% Ag - 21% Cu. No es tracta, doncs, d'una làmina d'or fi ni compleix les proporcions habituals en què es troben els seus aliatges, sempre amb una quantitat d'or superior a la dels altres metalls.

that was used to attach the metal to the surface underneath the tips of their spears, which were made of simple tin leaf that was cut and affixed to the wall and then shaped using a stylus.

However, not all of the thin metal leaf (gold and silver) seems to have been applied using watery adhesives. In a few special cases, such as the scene depicting the Triumph of the Virgin, some exceptionally delicate decorations (e.g. the thread by which baby Jesus is holding the bird) seem to have been painted following the instructions in chapter 151 of Cennini's book. Here, he describes making a warm oil-based mordant for highly detailed work – fine brushstrokes that dry to just the right degree and are then covered with thin sheets of noble metal and pressed on with a bit of cotton so that they fit the surface.

Fabrics that used metal thread to imitate brocade were also decorated with metal leaf. Examples can be found in the Virgin's tunic in the Coronation scene, in the drapery in the Annunciation scene, and in background fabric, the decorative work on the neckline, sleeves and armhole in the most richly decorated scene, the Triumph of the Virgin. Two different techniques were used to apply metal leaf to the brocade.¹⁶ In the first technique (described earlier in this chapter), the adhesive was applied to the painted surface using a thin paintbrush, carefully tracing the motifs that would be covered in gold leaf. In the second, tin leaf was cut into the appropriate shape, the oleoresinous adhesive was spread on its back, and the leaf was affixed directly to the wall.

Gold leaf was utilised much more sparsely than other kinds of metal leaf in the chapel, and the gold that was used was of a very low quality alloy.¹⁷ Gold leaf was employed for the names accompanying the figures of the saints, and was probably also used in the decorations on the angels' clothing in the most important scenes, the Coronation and

16. CENNINI, *Il libro*, LXXXXVI - C, p. 133-135. In several chapters of his treatise, Cennini explains these two systems in great detail. In the latter case, the tin sheet was cut on a specially prepared piece of wood coated with what Cennini referred to as "liquid varnish". This was possibly a mixture of linseed oil and terpene resin, which may or may not have contained gum; various formulae were used in the mediaeval era. We believe that this adhesive must have been significantly different from the mordant painted directly on the wall with a paintbrush; a much more watery mordant was needed to paint the fine lines and filigree work used to decorate the fabrics.

17. This thin gold-coloured sheet had the following composition: 39% Au - 40% Ag - 21% Cu. Therefore, it was not a sheet of fine gold, as it did not observe the normal proportions for gold alloys, where the quantity of gold is always greater than that of the other metals.

Detall del despreniment del pigment vermell d'una franja que emmarca les escenes, a causa d'una deficient carbonatació

Detail of the red pigment in a border framing the scenes; this was caused by poor carbonatation



Finalment, les làmines metàl·liques poden ser policromades, com és el cas de la sanefa decorativa de l'escena dels Improperis o de les ales de l'arcàngel Gabriel en l'Anunciació i algunes de les ales dels àngels a l'escena del Triomf de la Verge, decorades *in situ* amb la tècnica de l'esgrafiàt.

Els tractaments posteriors

Els quasi set segles que ens separen de l'execució dels murals han propiciat diverses intervencions, realitzades de manera parcial o més generalitzada, per pal·liar els danys que han sofert les pintures al llarg del temps, sia per filtracions d'aigua o per cops o pèrdues, per l'obertura de finestres, pel despreniment de capes pictòriques o per la falta de cohesió d'alguns pigments. Les intervencions més antigues no estan documentades, tot i que es poden observar algunes reintegracions fetes amb pigments molt costosos, com l'atzurita, sobre morters de reposició aplicats en el passat per reomplir alguna pèrdua puntual (escena de l'Ascensió de Crist). Per la informació que ens aporten les fotografies entorn l'any 1906,¹⁸ es dedueix que ja hi havia una part de la pintura original de l'arrimador coberta amb una capa uniforme i de color clar, molt probablement un emblanquinat de calç.

El llibre de Manel Trens¹⁹ és el testimoni més fidedigne, fins a l'actualitat, d'una de les

18. Sèrie de fotografies fetes el 1906 a l'arxiu Mas amb còpies sobre paper conservades a les fitxes d'inventari del Catàleg General del Reial Monestir de Santa Maria de Pedralbes.

19. Manuel TRENDS, *Ferrer Bassa i les pintures de Pedralbes*. Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1936.

the Triumph of the Virgin. The layer under the gold leaf used to write the names of the saints was comprised basically of white lead, with which the letters were traced out in Gothic calligraphy against a blue background. We were unable to determine which binding agent had been used with the pigment. Most of the gold used to create the aureoles for holy figures — predominantly those located in the upper register — was placed over an underlying ochre-coloured base; in the case of the other figures, the metal was affixed to the white mortar.

Finally, the metal leaf was at times polychromed. This was the case in the decorative frieze in the scene of the Passion of the Christ, in the wings of the Archangel Gabriel in the Annunciation, and in the wings of some of the angels in the Triumph of the Virgin, which were decorated *in situ* using the *sgraffito* technique.

Later conservation treatments

Over the nearly seven centuries that have passed since they were first created, the paintings have been touched up several times. These efforts — which ranged from small-scale to more extensive actions — aimed to address the damage caused over time due to water leaks, buffeting, open windows, loss of the pictorial layers and pigments that did not stay affixed. The earliest renovations were not documented, but some touch-ups are visible. These were done using expensive pigments like azurite, which were applied over replacement mortar to fill in gaps (such as in the scene of the Ascension of Christ).

intervencions de restauració més importants realitzades a les pintures de la capella. Va ser encarregada per Trens al restaurador italià Arturo Cividini, que cap a finals de la dècada de 1920 estava actiu a Catalunya. La seva intervenció, de caràcter general, va ser bastant respectuosa per l'època. Segons Trens, es realitzà una neteja i es feren reviure els colors, i també es va procedir a l'anivellament dels morters dels nombrosos esvorancs practicats al mur i s'efectuà la reintegració cromàtica corresponent. També es va eliminar el presatge continu situat entre els dos registres i es realitzà una repintada generalitzada de l'arrimador i de la part central del pany d'entrada, més malmès, emprant un color gris de tonalitat freda.

L'actuació més recent a la capella ha estat la que efectuà, cap als anys 1951 i 1952, el Servicio de Conservación de Monumentos Históricos de la Diputación de Barcelona, per acabar d'adequar l'espai i fer-lo visitable. Durant aquesta intervenció se cegà una gran obertura no original que hi havia en una de les parets d'un racó de la capella²⁰ i es repintà, una vegada més, la part corresponent a l'arrimador i al pany d'entrada malmès.²¹ Desconeixem si també es va actuar sobre les pintures.

Fruit de tots aquests tractaments fets en el passat, avui en dia es localitza sobre la superfície pintada una cola d'origen animal, aplicada de forma generalitzada. En algunes de les mostres analitzades aquesta capa té un gruix significatiu (fins a 20 micres en algun cas) i, observada amb UV, té fluorescència. També s'ha detectat la presència d'un fixatiu soluble a l'aigua, igualment aplicat per quasi la totalitat de la superfície. Sembla tractar-se d'una goma vegetal, molt probablement una goma aràbiga. Aquests materials filmògens juguen un paper molt important en la conservació perquè agreugen les alteracions vinculades a la tècnica pictòrica que analitzarem tot seguit.

20. A les fotografies de 1906 es veu que aquesta obertura, practicada al mur sud-oest en èpoques passades i que destruï part de la pintura original, s'utilitzava com a armari per penjar les claus del monestir i dipositar altres objectes sobre les lleixes. En els últims temps, la capella havia fet de cel·la abacial fins a l'any 1936, quan es va autoritzar la visita al públic.

21. Aquesta redecoració intenta acostar-se al color verdós i a les formes que tenia l'arrimador al segle XIV i que havien estat coberts per diferents estrats al llarg del temps. La nova capa que s'hi superposa reconstrueix, amb força exactitud, el traçat dels plafons motllurats originals, però no la imitació dels marbrejats de vius colors existents a l'interior dels plafons, deixant-los del color verdós que hi ha, com a base, per tot l'arrimador.

Photographs dating to circa 1906¹⁸ lead us to conclude that some of the original paint on the wainscot was covered with a clear, uniform coat, probably lime whitewashing.

To date, Manel Trens' book¹⁹ has provided the most faithful record of one of the most significant restorations undertaken on the paintings in the chapel. The Italian restorer Arturo Cividini, who was active in Catalonia in the late 1920s, was commissioned to carry out this work by Trens. Cividini's restoration was rather respectful for the era. According to Trens, the painting was cleaned, the colours were brought back to life, the mortar in several gaps was levelled out, and colours in these areas were touched up. The shelf between the two registers was also removed, and the wainscot and central part of the entry wall, which had been more badly damaged, were repainted using a cold, grey colour.

The most recent restoration of the chapel was carried out in 1951 and 1952 by the *Servicio de Conservación de Monumentos Históricos de la Diputación de Barcelona* (Provincial Council of Barcelona's Historical Monument Conservation Service) in order to make the space accessible and open it to visitors. During this restoration, a large opening in one of the walls in the corner of the chapel – an opening which had been added after the piece was first painted – was blocked in²⁰ and the damaged wainscot on the entry wall was again repainted.²¹ We do not know if the paintings were restored in any way.

As a result of these earlier actions, today we find an animal-based glue spread across much of the painted surface. In some of the samples we analysed, this layer is quite thick (up to 20 micrometres); it fluoresces under UV light. We also discovered a water-soluble fixative

18. A wide number of photographs shot in 1906 are available in the Mas Archive; paper copies are preserved in the inventory records in the General Catalogue of the Monastery of Saint Mary of Pedralbes.

19. Manuel TRENS, *Ferrer Bassa i les Pintures de Pedralbes*. Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1936.

20. This opening was cut into the southwest-facing wall at an earlier time and destroyed part of the original painting. In the 1906 photographs, we can see that it was used as an armoire for hanging the keys to the monastery; other objects were placed on the shelves. In recent years, the chapel had served as a cell for the abbey until 1936, when it was first opened up to the public.

21. This redecoration aimed to reproduce the greenish colour and forms of the wainscot from the 14th century, which had been covered by various layers over the course of time. The new layer painted on top of previous layers was a nearly perfect copy of the original panel mouldings. However, it did not imitate the vibrantly coloured marbling inside the panels, instead leaving them the greenish hue which serves as the base colour for the entire wainscot.

Detall de la manca de cohesió entre pinzellades fetes al fresc de les fulles d'un arbre a l'escena del Prendiment

Detail of leaves painted using the fresco technique that did not bind well. Scene depicting the Arrest of Jesus



Relació entre la tècnica d'execució i les alteracions

Un cop coneixem en profunditat la tècnica i els materials de la pintura mural es poden entendre millor les alteracions que presenta. Els murs de l'església i la bona factura dels morters han estat una garantia de bona conservació. Tot i així, la darrera capa de morter o *intonaco*, aplicada sobre els murs de la capella per pintar directament al fresc, es troba força bufada i separada de l'enlluït preexistent que feia de primer revestiment i que va ser conservat per la seva funció com a pla anivellat. Amb tot, després de passar per diverses vicissituds, relacionades amb obres i remodelacions, la pintura no presenta grans pèrdues per despreniment i els bufats més greus es limiten a les àrees intervingudes, que representen uns deu metres quadrats de la superfície total.

A les capes pictòriques hi ha freqüents alteracions resultants directament de la tècnica d'execució i que es posen de manifest o s'agreugen amb el pas del temps. El temps, per contra, també fa palesa la resistència d'alguns materials a l'envelliment.

En el cas de les pintures murals de la capella, la millor conservació sol coincidir —tret d'algunes excepcions— amb els pigments lligats amb hidròxid càlcic, l'aglomerant inorgànic necessari per a la formació de l'estrat carbonatat en la pintura al fresc. Però fins i tot en aquestes parts més ben conservades s'hi poden llegir alguns senyals, molt localitzats, que revelen l'aplicació de la tècnica d'una manera menys precisa, i que solament després d'estar exposats a nombrosos cicles naturals

that had been applied over virtually the whole surface. It appears to be a natural gum, most likely gum arabic. These two materials have a main role in conservation because they aggravate the alterations related to the painting technique.

The relationships between painting technique and subsequent alterations

Our in-depth description of the painting technique and materials utilised allows us to better understand the alterations present in the work. The church's walls and well-made mortar helped to guarantee that the piece would be well preserved. However, much of the upper layer of *intonaco*, which was applied onto the chapel walls to paint the fresco, has become detached from the first coat of plaster painted on the chapel walls. Nevertheless, despite the numerous challenges posed by construction and renovations, little of the painted surface has been lost. Rather, the most significant detachment was limited to the areas where previous work was conducted, which account for ten square metres of the total surface area.

The pictorial layers reflect frequent alterations that were a direct result of the painting technique used; these appeared or worsened over the years. Conversely, time has also underscored the fact that some materials were resistant to ageing.

Except for a few isolated cases, the best-conserved parts of the chapel tended to be those areas where pigments were affixed with calcium hydroxide, the inorganic

Mapa de pèrdues de policromia (capa taronja fosc) en relació el procediment al fresc i al sec (no s'inclouen les làmines metàl·liques)

Lost polychromy (dark orange layer) in fresco and *a secco* sections (metal leaf was not included)



MAPA FASE FRESC (PINTURA CARBONATADA)

- PINTURA CARBONATADA (FRESC I RETOCS DE CALÇ)
- BASE GRIS (PER A L'ATZURITA AL SEC)
- BASE ROIG-ÒXID-DE-FERRO FOSC (PER A L'ATZURITA AL SEC)
- BASE OCRE (PER A LA LÀMINA METÀL·LICA)
- BASE ROIG-ÒXID-DE-FERRO (PER AL CINABRI AL SEC)

MAPA FASE SEC (AGLUTINANTS ORGÀNICS)

- PINTURA AL SEC
- PINTURA AL SEC: ATZURITA (PIGMENT BLAU)
- PINTURA AL SEC: TRANSPARÈNCIES
- PINTURA AL SEC: CINABRI SOBRE BASE FRESC



Dos exemples del procés de despreniment de la pintura presumiblement feta a l'oli. Escena dels Impropèris i de la pietat

Two examples of painting loss, presumably done in oil. Scene depicting the Passion of Christ and Piety

d'envelliment, han sortit a la llum. Ens referim a les zones amb pigments pulverulents, coincidint pràcticament amb el color vermell òxid de ferro que s'aplica com a fons a l'intradós i en alguns punts de les bandes vermelles que emmarquen les escenes. Aquests traços finals de color intens i saturat, exempt d'hidròxid càlcic, es degueren aplicar, sobre un *intonaco* ja força sec que no va permetre la correcta carbonatació dels pigments al morter, de manera que aquests, dipositats sobre la superfície més que no pas englobats en la matriu de calç, s'han anat desprenent.

Un altre cas de mala adhesió entre capes fetes al fresc és el que té lloc al verd dels arbres (escena del Prendiment), on la superposició de pinzellades denses per simular fulles de diferent tonalitat no està suficientment cohesionada. Segons quin fos el temps transcorregut entre les pinzellades, és possible que es formés un vel fi de carbonat de calci en la superfície de cadascuna que dificultés el procés de carbonatació del conjunt. En aquest cas no s'observa pulverulència, perquè les pinzellades són riques en *bianco di San Giovanni*, però si que es manifesta certa falta d'adhesió entre elles, sobretot en les més superficials. Aquesta descohesió, però, solament es posa en relleu amb l'aplicació, durant alguna intervenció de restauració antiga, d'una substància filmògena de caràcter fixatiu, que propicia l'exfoliació dels estrats.

Com s'ha comentat unes ratlles més amunt, les obres fetes amb tècnica mixta posen en evidència la seva vulnerabilitat perquè el sec utilitza materials orgànics, en contrast amb la millor conservació de les parts fetes al fresc, completament inorgàniques. Una mirada ràpida als murals de la capella de Sant Miquel detecta com un conjunt que ha estat sotmès a les mateixes condicions de conservació ha evolucionat de manera diferenciada. No obstant

binding agent needed for frescoes to carbonate. Yet even in these best-preserved parts of the work, we can pinpoint small signs which demonstrate that the technique may have been followed less strictly; these only came to light after years of the natural ageing process. Concretely, this was the case in areas with powdery pigments, generally those where the iron oxide red colour was applied as a background on the soffit and in some parts of the red borders framing the scenes. These lines of intense, saturated colour, which did not contain calcium hydroxide, must have been applied at the final stage of the process onto relatively dry *intonaco*. As this mortar was too dry for the pigments to carbonate properly, they ended up deposited on the surface rather than embedded into the lime, and therefore were lost over the years.

The green trees in the scene of the Arrest of Jesus are another case where fresco layers failed to bind well to the underlying mortar; here, the overlapping, dense brushstrokes which create an impression of different coloured leaves did not bind fully to the surface. Depending on the time that passed between brushstrokes, a thin layer of calcium carbonate may have formed on the surface of each stroke, preventing the area as a whole from carbonating properly. In this particular case, we did not see any signs of powderiness, since the brushstrokes contain ample amounts of *bianco di San Giovanni*. However, we did see signs of a lack of cohesion between them, especially among the layers closest to the surface. Nonetheless, it should be noted that this lack of cohesion only became an issue when a fixative film was applied to the work's surface during an early restoration, an action that actually caused layers to flake off.



Figura de sant Domninus alterada per una filtració antiga d'aigua

Image of Saint Domninus disfigured by past water leaks

això, la pintura feta amb aglutinants orgànics no sempre està abocada al màxim deteriorament. La seva resistència està supeditada a la força i durabilitat de l'aglutinant mateix, als efectes que aquest introdueix en la porositat de l'*intonaco* i a les condicions d'humitat i temperatura a les quals ha estat exposat i que poden desencadenar processos físics i químics o propiciar l'atac microbiològic.

La cohesió entre els aglutinats grassos o magres i l'*intonaco* depèn de cada tipus de material, essent l'oli, per la seva baixa porositat, el que crea una superfície més impermeable que altera l'intercanvi de vapor d'aigua entre el mur i l'ambient i en propicia el despreniment, sobretot quan es produeixen canvis sobtats i acusats de la humitat relativa.²²

Ara bé, com han afectat les condicions climàtiques el cicle pictòric? Tenint en compte l'abundància de materials orgànics i la tècnica emprada, l'estat de conservació dels murals és més bo del que es podria esperar. En aquest sentit, les característiques físiques de la ca-

As noted above, works made with a mixed technique are vulnerable because organic materials are used to paint on dry surfaces, whereas fresco painting is done with completely inorganic substances, which stood up better to the test of time. A quick glance at the murals in Saint Michael's Chapel shows how different parts of the work evolved differently despite facing identical environmental conditions. However, it should be noted that the parts of the painting done with organic binding agents did not necessarily face serious deterioration. The conservation of these sections depended on the strength and durability of the binding agent, how it affected the porousness of the *intonaco*, and the humidity and temperature to which the section was subjected, which could have a bearing on the physical or chemical processes at play or create a favourable environment for microbiological attacks.

Cohesion between fat and lean binding agents and the *intonaco* depends on the type of material. Since oil is not highly porous, it created a less permeable surface. This affected how water vapour was exchanged between the wall and the environment and favoured

22. Això es produeix perquè els murs tendeixen a reequilibrar la quantitat d'aigua amb l'entorn, expulsant l'aigua que contenen quan la humitat ambient és baixa i absorbint-la dins el mur quan és elevada.



Pigment de coure + oli de llinosa
Cooper pigment + Linseed oil

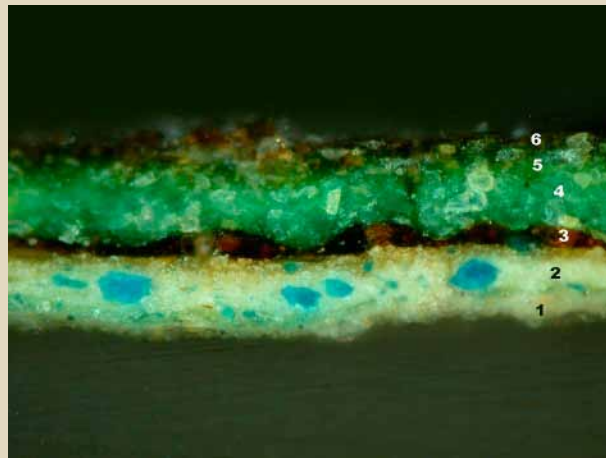
Verdigris, blanc plom, groc de Pb i Sn (m.b.p.), carbonat càlcic (b.p.)
Verdigris, white lead, cooper and lead-tin yellow, calcium carbonate

Capa aïllant resina colofònia
Insulating layer of Greek pitch

Blanc de plom, atzurita, groc de Pb i Sn, carbonat càlcic (b.p.)
White lead, azurite, cooper and lead-tin yellow, calcium carbonate

(Terra groga, carbonat càlcic)
(Yellow earth, calcium carbonate)

INTONACO / *Intonaco*



ella hi han tingut un paper decisiu. Malgrat tot, l'ús de l'espai al llarg dels anys (obertura i tancament de la porta d'accés i les finestres, engrandiment de finestres i obertura de noves al pany d'entrada, presència de persones a l'interior) ha hagut d'incidir forçosament en les condicions ambientals. A més a més, a l'embigat es detecten rastres d'alguns incidents, com ara regalims i taques d'humitat antigues que podrien haver estat produïdes en el curt període que la capella va estar sota teulada, o pocs anys després, quan aquesta teulada s'elimina i es dota el primer pis d'un forjat pla. També hi

paint loss, especially in cases of sudden, significant changes in relative humidity.²²

How did climatic conditions affect the paintings? Given the abundance of organic materials and the technique employed, the paintings have held up better than we would have expected. The chapel's physical characteristics played a key role in this.

22. This occurs because the walls tend to exist in a state of equilibrium with the environment; they exude water when the humidity levels are low and absorb it when levels are higher.

ha notícia d'un fort temporal que es va produir a finals del segle XVII i va provocar destrosses considerables.²³ Els efectes de l'acció directa de l'aigua als murals es fan palesos als murs situats al sud-est, just en el sentit de desguàs de l'aigua de la coberta: des de l'embigat l'aigua es va escolar i va rentar la policromia, no se sap si durant el temporal.

Més enllà d'aquests episodis excepcionals, l'ús de l'espai generava necessàriament canvis bruscs de la humitat. El clima mediterrani de Barcelona és temperat, però la humitat absoluta pot augmentar les tardes d'estiu amb la brisa marina, i els dies de fort vent del nord l'ambient s'asseca amb rapidesa. En un espai tan reduït només el fet d'obrir i tancar la porta havia d'afectar les condicions climàtiques.²⁴ Així ho confirmen els registres acumulats.

En relació amb la situació dels darrers deu anys, s'han adoptat algunes mesures de protecció, basades en els estudis ambientals realitzats. La porta d'entrada connecta directament amb una petita cabina de metacrilat que permet contemplar les pintures sense incidir en l'ambient, alhora que possibilita una certa ventilació natural controlada. Les finestres estan habitualment tancades i l'entrada d'aire es redueix al seu pas a través de les juntes. L'evolució climàtica a l'interior de la capella és adequada per a la conservació donada l'estabilitat: les oscil·lacions diàries de la temperatura són d'1 °C o com a màxim 2 °C i les de la humitat són d'entre 5 i 7 %.²⁵ Això s'aconsegueix a causa de la inèrcia tèrmica de la capella, i més quan es controla l'obertura de la porta.

No obstant això, les humitats elevades i els cicles adsorció-desorció han trobat

Nevertheless, the way the space was used over the centuries (people opening and closing the door and windows, enlarging the windows and adding new ones to the entry wall, and spending time inside the space) must have had a significant impact. We also found traces of past water seepage and humidity stains on the beams. These may have come to pass during the short period in which the chapel had a gambrel roof, or a few years later, when it was removed and a flat roof was installed in its place. A strong storm in the late 17th century also caused serious damage.²³ We can see the effect of water on the paintings on the southeast-facing wall, right where water drained off the roof. The water ran down from the beams and over the polychrome; we do not know when this took place, but it may well have been during the storm.

Quite aside from these isolated events, abrupt changes in humidity levels would almost definitely have resulted merely from using the space. Barcelona enjoys a temperate, Mediterranean climate, but the sea breeze can cause absolute humidity to increase on summer afternoons, and when the wind blows strongly from the north, the environment can dry out quickly. In such a small space, simply opening and closing the door must have affected climatic conditions.²⁴ Cumulative logs confirmed that this was the case.

Over the last decade, environmental studies have led us to adopt several protective measures. A small Perspex booth at the entrance to the chapel allows visitors to view the paintings without affecting the environment and also provides for a kind of natural, controlled ventilation. The windows are usually closed, and joints reduce

23. *AHCB* (Arxiu Històric de la Ciutat de Barcelona), CONSELL DE CENT, *Deliberacions* II-200, 1691, 12 novembre, f. 298-299, «Donació de les cent lliures acostumades per reparar especialment les destrosses causades per la tempesta del dia 30 d'octubre, l'aigua va arribar fins a l'arxiu i causant desperfectes a l'església, el claustre, el confessionari i moltes parets».

24. En un estudi recent per estimar quins serien els efectes de la presència de tres persones en jornades de vuit hores a l'estiu (emprant focus que incrementen la temperatura de l'interior) s'ha demostrat de manera predictiva el risc d'augment dels nivells d'humitat relativa. En aquestes condicions adverses es comprova que es podrien assolir valors propers a la condensació i fins i tot la condensació mateixa (dies més calorosos de juliol i agost). Santi FERRER, Gema CAMPO, «Estudio sobre las posibles alteraciones en las condiciones de temperatura y humedad en la Capilla de Sant Miquel del Monasterio de Pedralbes durante los trabajos de restauración a realizar en el verano de 2013» (estudi inèdit), 2013.

25. L'any 2011 les mitjanes trimestrals a l'interior de la capella eren: 17,42 °C i 71,37 % d'HR a la primavera; 24,62 °C i 67,69 % d'HR a l'estiu; 17,63 °C i 61,8 % d'HR a la tardor i 12,72 °C i 64,89 % d'HR a l'hivern. Aquestes dades corresponen a l'estudi que el Museu d'Història de Barcelona duu a terme des de l'any 2003.

23. *AHCB* (Historical Archives of the City of Barcelona), CONSELL DE CENT, *Deliberacions* II-200, 1691, 12 November, p. 298-299, «Donació de les cent lliures acostumades per reparar especialment les destrosses causades per la tempesta del dia 30 d'octubre, l'aigua va arribar fins a l'arxiu i causant desperfectes a l'església, el claustre, el confessionari i moltes parets». (Donation of one hundred pounds to repair the damage caused by the storm on 30 October, when the water entered the archive and caused damage inside the church, the cloister, the confessional, and on many walls.)

24. A recent study to determine the effects caused by three people spending time in the space for eight hours during the summer (using lights that increased the inside temperature) predicted that there was a risk that relative humidity levels would increase. These adverse conditions could create a setting ripe for condensation or, on the hottest July and August days, lead to condensation itself. Santi FERRER, Gema CAMPO, «Estudio sobre las posibles alteraciones en las condiciones de temperatura y humedad en la Capilla de Sant Miquel del Monasterio de Pedralbes durante los trabajos de restauración a realizar en el verano de 2013», 2013 (unpublished).

una barrera en el film pictòric al sec o en les làmines aplicades, causant-ne el despreniment, i que els despreniments més severs coincideixen amb estratigrafies pictòriques que estan formades per moltes capes. Tot i així, hi ha excepcions importants, com ara els blaus d'atzurita, que es mantenen sòlidament adherits, probablement per l'ús d'un lligant orgànic resistent a l'oxidació i a la solubilitat en aigua i, molt possiblement també, per certa compatibilitat física amb la part inorgànica de la capa pictòrica o del morter.

Quant als contaminants, els nivells de partícules en suspensió són correctes i no es detecten contaminants gasosos ni concentració de compostos àcids. Pel que fa a l'estat microbiològic, les mostres ambientals donen uns nivells de bacteris i fongs moderats i una bona qualitat de l'aire; al seu torn, les mostres superficials indiquen una contaminació bacteriana escassa i una contaminació fúngica en la qual s'han aïllat majoritàriament espècies que pertanyen als gèneres *Stemphylium* i *Penicillium*.²⁶ Amb tot, no hi ha cap indici que apunti a un procés actiu que suposi cap risc.

A continuació s'exposen amb més deteniment alguns casos que il·lustren la relació entre l'estat de conservació i les alteracions.

Acetat de coure i laca verda a base d'un pigment de coure (oleat?)

La indumentària d'alguns personatges de tonalitat verd fosc, feta a base de *verdigris* (acetat de coure) ha experimentat un procés molt greu de deteriorament. La superfície pictòrica està completament clivellada i les partícules en forma d'escates s'han després progressivament i han provocat grans llacunes. L'alteració afecta el gruix sencer de la pel·lícula pictòrica, de tal manera que la manca de policromia deixa a la vista l'*intonaco*. Una de les àrees més deteriorades correspon al mantell d'una de les figures de l'escena de l'Ascensió de Crist, però això es detecta també a altres punts de la pintura on presumiblement s'ha emprat el mateix pigment i la mateixa tècnica.

Però, quina és aquesta tècnica i quin és el procediment emprat? L'anàlisi estratigràfica revela, sobre el morter, una terra groga corresponent al dibuix preparatori, damunt la qual s'ha estès una capa de to verd clar, seguida d'un gruix de color ambre i, tot seguit, un altre estrat de to verd fosc que gradualment esdevé

the amount of air that enters the chapel. Climatic changes inside the chapel are sufficiently stable for preserving the work: the temperature fluctuates by 1°C per day (or a maximum of 2°C) and humidity is between 5-7%.²⁵ The thermal inertia of the chapel helps to guarantee these conditions, which are even more stable when the frequency with which the door is opened is limited. Nonetheless, it should be noted that the *a secco* pictorial film and metal leaf shielded the work from the effects of high humidity and the absorption-desorption cycle, but were therefore lost as a result. The most severe damage occurred in pictorial strata comprised of multiple layers. Nevertheless, there were several major exceptions, including azurite blues; these remained solidly affixed to the surface, probably due to an oxidation-resistant organic binding agent and their water solubility and possibly also due to a degree of physical compatibility with the inorganic part of the pictorial layer or the mortar.

With regard to pollution, the levels of suspended particulate matter were appropriate, and we did not detect gaseous pollutants or a concentration of acidic compounds. In terms of microbiology, environmental samples revealed moderate bacterial and fungal levels and good air quality. Surface samples indicated very limited bacterial and fungal contamination; the most frequently detected species were *Stemphylium* and *Penicillium*.²⁶ Overall, there were no indications of active processes that might threaten the work.

The following sections examine a series of cases to paint a more detailed picture of the relationship between the state of conservation and alterations.

A copper (oleate?) pigment in copper acetate and green lake

The dark green hues found in the clothing of some figures were painted using verdigris (copper acetate) and suffered serious deterioration. The pictorial surface is marred by major cracking and the particles flaked off progressively, causing major gaps. Indeed, so severe is the alteration that the polychromy

25. According to a study conducted by the Museu d'Història de Barcelona since 2003, in 2011, the quarterly averages inside the chapel were: 17.42°C and 71.37% RH in spring; 24.62°C and 67.69% RH in summer; 17.63°C and 61.8% RH in fall and 12.72°C and 64.89% RH in winter.

26. Four samples of microorganisms suspended in a buffer solution were studied by Arte-Lab in January 2012. See "Calidad ambiental interior, capella sant Miquel Monestir de Pedralbes", carried out by Sik-Lab in December 2011.

26. Estudi de quatre mostres de microorganismes suspeses en solució *buffer*, realitzat per Arte-Lab el gener del 2012. Informe: «Calidad ambiental interior, capella Sant Miquel Monestir de Pedralbes», estudi realitzat per Sik-Lab el desembre de 2011.



L'atzurita es manté ben adherida al mur tot i que amb algunes alteracions. Imatge de Sant Honorat

Azurite remains well affixed to the wall despite some changes. Scene depicting Saint Honoratus

transparent. Pel que fa a la capa transparent superficial, es tracta d'una laca, possiblement un oleat de coure, perquè s'ha detectat presència d'oli de llinosa. L'oli de llinosa és l'aglutinant de totes les capes pictòriques.

La seqüència estratigràfica ens remet doncs a una tècnica elaborada que treballa amb la superposició de tons per aconseguir els efectes cromàtics desitjats, amb algunes precaucions a l'hora de barrejar o superposar diferents materials. Així, la capa de colofònia podria haver actuat com un aïllant aplicat per protegir el pigment de coure de l'alcalinitat de l'*intonaco*, però la presència de carbonat càlcic, lleugerament alcalí, en la mescla de pigments posa en qüestió aquest supòsit. Una altra raó per a l'existència d'aquesta capa de resina es podria buscar en la incompatibilitat d'algun component de les dues capes pictòriques que queden separades per la colofònia, però en aquest cas, les dues tenen el mateix lligant i pigments secundaris idèntics (encara que en diferents proporcions), la qual cosa, *a priori*, ens faria descartar aquesta hipòtesi. L'única diferència està en els pigments que donen la tonalitat principal a ambdós estrats. Els dos són pigments derivats del coure: blau d'at-

has worn off completely, leaving the *intonaco* visible. The cloak worn by one of the figures in the scene depicting the Ascension of Christ is one of the most deteriorated areas. This same situation was also visible in other parts of the painting where we believe the same pigment or technique was used.

Exactly what technique and process were employed? Our stratigraphic analysis found that yellow earth was used for the preparatory design on the mortar. This was coated with several different layers: first, a light green layer, then, an amber one, and finally, a dark green layer which gradually gave way to a transparent hue. The transparent layer on the surface of the work was a lake; here we detected linseed oil, leading us to believe that this layer might have been a copper oleate. Linseed oil was used as the binding agent in all of the pictorial layers.

Stratigraphic sequencing therefore revealed that the painters used an elaborate technique which entailed layering several shades on top of one another in order to produce the desired chromatic effect. The painters were fully aware that some precautions needed to be taken when mixing or layering given

zurita en la capa de sota i *verdigris* en la capa de sobre. Una hipòtesi és que el pintor hauria cercat de protegir l'atzurita del contacte amb el *verdigris* que li superposaria al damunt. No hem trobat en el tractat de Cennini cap indicació en aquesta direcció, únicament ens prevé d'acostar el pigment *verdigris* al blanc de plom.²⁷ Tampoc sabem la composició exacta del *verdigris* de la capella, encara que veient que generalment està barrejat amb pigments de color groc, podríem pensar que es tractava de la varietat més freda, que es volia modificar cap a una tonalitat més càlida. Si fos així, potser estaríem, prenent totes les precaucions, davant d'un acetat bàsic de coure, un verd de tonalitat més blavosa. Cennini, quan parla d'aquest pigment —que ell denomina *verderame*— aconsella moldre'l amb vinagre²⁸ i aplicar-lo sobre taula amb tremp de cola o bé amb tremp de rovell d'ou, sobre paper o pergamí. Però en aquest cas, el *verdigris* que s'aplica a les pintures de la capella utilitza un medi oliós, i és més que probable que es molgués utilitzant l'oli de llinosa,²⁹ sense cap conseqüència negativa, per tant, en l'estrat subjacent que es pretenia aïllar. Alguns autors coetanis a Cennini ja advertien dels inconvenients d'emprar *verdigris* sobre làmines d'or, cosa que Cennini s'encarrega de contrarestar.³⁰ Leonardo da Vinci, més tard, també comenta el ràpid deteriorament cromàtic que sofreix aquest pigment quan no està envernissat i la seva descohesió en contacte amb l'aigua, encara que estigui aplicat a l'oli.³¹

27. «Guar' ti di none avvicinarlo mai con biacca, perché in tutto sono inimici mortali». CENNINI, *Il libro...*, LVI, pàg. 100-101. De totes maneres, a la capa situada sobre l'estrat aïllant de resina, on trobem *verdigris* i blanc de plom, no observem cap tipus de reacció adversa entre aquests, potser perquè estan barrejats en un vehicle oliós que aïlla, d'alguna manera, els grans dels pigments i els impedeix reaccionar. De fet, el *verdigris* apareix amb freqüència en la pintura medieval mesclat amb blanc de plom i groc d'estany i plom sense que s'hi detectin signes de deteriorament (vegeu Hellen HOWARD, *Pigments of English Medieval Wall Painting*. Londres, Archetype Publications, 2003, pàg. 86). El mateix Cennini es refereix a la mescla d'oli, una mica de *biacca* i de *verdigris* amb un percentatge de vernís que després s'ha de bullir per preparar mordents per aplicar les làmines metàl·liques. CENNINI, *Il libro...*, CLI, pàg. 156.

28. Fabio Frezzato, en una nota a peu de pàgina, troba una explicació molt plausible en el fet exposat per Cennini sobre la utilització de vinagre com a medi per moldre el *verderame*. Diu que d'aquesta manera s'afavoreix la transformació de l'acetat bàsic de coure a la seva forma neutra, que conserva el seu color durant més temps. (Vegeu nota anterior).

29. Vegeu nota 12.

30. CENNINI, *Il libro...*, CLII, pàg. 175

31. Leonardo DA VINCI, *Tratado de pintura*, Madrid, Akal, 1986, CXIX.

materials. Indeed, the layer of Greek pitch may have been applied to insulate and protect the copper pigment from the alkalinity of the *intonaco*, although the presence of calcium carbonate in the mixture of pigments casts some doubt on this hypothesis. This layer of resin might also have been applied to separate incompatible components into two pictorial layers. However, since the two layers both used the same binding agent and identical secondary pigments (albeit in different proportions), we have discarded this hypothesis *a priori*.

The only difference we found was related to the pigments which provided the main colour in each of the layers. Both pigments are copper derivatives: azurite blue was used in the underlying layer and verdigris in the upper layer. One hypothesis is that the painter may have tried to keep the azurite from coming into contact with the verdigris which would be painted on top of it. In his treatise, Cennini makes no mention of this or any other related techniques, simply advising readers not to put verdigris near white lead.²⁷ We also do not know the exact composition of the verdigris used in the chapel. However, seeing as it was generally mixed with yellow pigments, we believe that the coldest type of verdigris was used, and that the painters aimed to give it a warmer tone. Though we cannot be overly confident about this hypothesis, if this were the case, perhaps we are looking at a basic copper acetate, a green with a lot of blue in it.

When Cennini discusses this pigment — which he refers to as *verderame* — he recommends grinding it with vinegar,²⁸ applying it on panels tempered with glue

27. «Guar' ti di none avvicinarlo mai con biacca, perché in tutto sono inimici mortali» (“Be careful never to put it near white lead, because these two colours are mortal enemies in everything.”) CENNINI, *Il libro*, LVI, p. 100-101. Despite this admonition, we found verdigris and white lead in the layer underneath the resin insulant and did not detect adverse reactions of any type between them, perhaps because they were mixed in an oily vehicle which somehow isolated the grains of the pigments and prevented them from reacting. In fact, in mediaeval painting verdigris was frequently mixed with white lead and lead-tin yellow, and no signs of deterioration have been detected in these cases (see Hellen HOWARD, *Pigments of English Medieval Wall Painting*, London, Archetype Publications, 2003, p. 86). Cennini himself refers to mixing oil, a bit of *biacca* (white lead), verdigris and varnish and boiling the substance to prepare mordants which could be used to apply metal leaf. CENNINI, *Il libro*, CLI, p. 156.

28. In a footnote, Fabio Frezzato presents a highly plausible explanation: Cennini suggested grinding *verderame* with vinegar, and Frezzato notes that this would transform basic copper acetate into its neutral form, which keeps its colour for longer. (See previous footnote).



El blau d'indi descolorit

Discoloured indigo

No trobant, doncs, una justificació prou clara en la incompatibilitat química entre els components dels estrats que es pretenen aïllar, ens ha semblat que l'explicació més versemblant per entendre l'existència de l'estrat a base de resina de colofònia està relacionada amb l'aïllament de la humitat. Segurament el que es volia era evitar una futura migració de la humitat, a través del mur, cap a la capa de *verdigris*, que disgregués la delicada sal de coure i la fes deliqüescent. Afortunadament, això no ha passat i el verd de coure està molt ben aïllat. Es tractaria, en certa manera, d'un doble «aïllament» del *verdigris*: primer, a tocar el morter, amb un estrat que funciona com una base de color i que, en estar aplicat a l'oli, proporciona una certa impermeabilitat, i després, amb el veritable estrat translúcid aïllant, la resina de colofònia. Precisament, l'alteració està molt relacionada amb la presència d'aquestes capes impermeables que han suposat una barrera important al pas al vapor d'aigua i han causat, finalment, el despreniment de tot el film pictòric. La gruixuda i rígida pel·lícula pictòrica es va esquerdar probablement per efecte de la pressió del vapor emergit del mur. Les fissures arriben a la superfície de l'*intonaco* i, per tant, el despreniment no es produeix a l'alçada de la colofònia, sinó a la zona de contacte entre la primera capa feta a l'oli i l'*intonaco*.

Un altre factor que hi ha contribuït, sens dubte, és el gruix de la pintura, el qual, sumant totes les capes, és d'entre 120 i 155 micres. Un gruix més que considerable si es té en compte que les zones pintades al fresc només fan entre 15 i 40 micres. Per tant, el pes d'aquestes capes, si no estan ben subjectes, en facilita el despreniment. Quant a l'enfosquiment superficial de la laca verda i la variació del cromatisme (adquirint una tonalitat marró) a nivell superficial (internament manté el color),

and tempering it with glue or egg yolk on parchment or paper. In the chapel, however, the verdigris applied to the paintings used an oily medium, and it is more likely that the painter ground it using linseed oil²⁹ without any negative consequences on the underlying layer it was supposed to be separated from. While some of Cennini's contemporaries published works noting the downsides of using verdigris on gold leaf, Cennini took pains to counter this argument.³⁰ Later, Leonardo da Vinci also pointed out that the colour of this pigment deteriorated swiftly when it was not varnished and that it lost cohesion when it came into contact with water, even if it had been applied using oil.³¹

As the argument for chemical incompatibilities between the components in the layers proved hard to justify, we concluded that this layer of resin was most likely used to provide insulation from humidity. Undoubtedly, the painters attempted to keep humidity from moving through the wall to the verdigris layer, disintegrating the delicate copper salt and causing it to become deliquescent. Luckily, this did not occur, and the copper green remained well insulated. To a certain extent, this served as a double "insulation" of the verdigris: first, when it touched the mortar, with a coloured undercoat which was somewhat impermeable, given that it was applied using oil, and later, with a truly translucent insulating layer of Greek pitch. Indeed, the fact that the work suffered few alterations is closely tied to the presence of these impervious layers which served as a strong protection against water vapour and ended up leading to the loss of the entire pictorial layer. The thick, rigid pictorial layer cracked probably due to the pressure of the vapour coming from the walls. The fissures reached the surface of the *intonaco*, and consequently, losses occurred at the first layer where the oil touched the *intonaco* rather than at the resin layer.

Undoubtedly, the thickness of the painting – between 120 and 155 micrometres – also contributed to this situation. This is especially significant when we bear in mind the fact that the frescoed portions of the work measure between 15 and 40 micrometres. Therefore, if these layers were not firmly affixed, they were likely to be lost due to their weight. We are not entirely certain why the green lake on

29. See footnote 12.

30. CENNINI, *Il libro*, CLII, p. 175

31. LEONARDO DA VINCI, *A Treatise on Painting*, Mineola, New York, Dover Publications, 2005. 119.

l'alteració encara no està del tot clara, però es pot comprovar en nombroses obres, on la part més superficial exposada a la llum pateix, reiteradament, aquest canvi cromàtic. Molt probablement hi tenen a veure les radiacions ultraviolades o potser el contacte amb algun component de l'atmosfera, com per exemple l'oxigen.

Atzurita

L'atzurita (carbonat bàsic de coure) s'ha aplicat sobre una capa prèvia de tonalitat grisa pintada al fresc.³² Com és ben sabut, aquesta base fosca compleix una doble funció: fa que la llum que es transmet als cristalls d'atzurita reflecteixi un blau més profund i permet estalviar pigment. Pel que fa al procediment pictòric, el pigment blau ha estat mesclat amb una baixa proporció de carbonat càlcic i aglutinat amb un producte de naturalesa proteica que encara no s'ha pogut precisar.³³ L'estat de conservació és bo i no hi ha els despreniments tan freqüents que s'observen en altres conjunts pictòrics del mateix moment. Malgrat tot, sí que es produeix enfosquiment i variacions cromàtiques que són molt evidents en les superfícies grans, com ara el fons de les escenes. Aquest enfosquiment respon en part a l'efecte causat pels fixatius aplicats en antigues intervencions, que prenen una coloració entre marró i ocre que intensifica la tendència natural cap a el verd que caracteritza al pigment atzurita. La humitat i la presència de diòxid de sofre (vapors de sofre) també poden haver-hi intervingut. On l'alteració modifica més substancialment el treball fet per l'artista és als mantells de la Verge i de Crist. L'enfosquiment provocat pels fixatius en l'atzurita ha dissipat el contrast en el modelat dels plecs, i no es perceben tal com van ser creats, sinó com a superfícies més planes. Si s'hagués emprat el procediment que descriu Cennino, l'atzurita s'hauria aplicat amb cola animal i rovell d'ou, i el modelat s'aconseguiria aplicant ombres

the surface took on a brownish tone in the top layer (maintaining its original colour inside the work), but this change in the outer layer, which was exposed to light, has been observed in numerous works. This effect is likely tied to ultraviolet radiation or perhaps to an element in the environment, such as oxygen.

Azurite

Azurite (basic copper carbonate) was applied on top of a grey fresco layer.³² It is well known that this undercoat served a twofold purpose: it caused the light transmitted by the azurite crystals to reflect a deeper blue and allowed the painters to reduce the amount of pigment they used. During the painting process, the blue pigment was mixed with a low proportion of calcium carbonate and a protein-based binding agent that we have not yet been able to identify.³³ This part of the work has stood up well to the test of time, and has suffered less frequent losses than we see in other pictorial ensembles dating from the same period. Nevertheless, darkening and chromatic variations were very visible in large sections, such as the backgrounds of the scenes.

This darkening was partly the result of the fixatives applied during previous restorations; these took on a colour between brown and ochre which intensified the greenish colour that tends to appear as azurite ages. Humidity and sulphur dioxide (sulphur vapour) may have also played a role.

The cloaks worn by Mary and Jesus showed the most significant alterations. The fixatives darkened the azurite and washed out the contrast in the folds of their garments; they no longer appear as they originally did, but rather, seem like flat surfaces. If the painters had followed the technique described by Cennino, they would have applied azurite using animal glue and egg yolk and added shadows using indigo and black. Indigo is a colour that tends to dissipate due to light, and could have

Anàlisi estratigràfica d'una micromostra de laca vermella corresponent a la túnica de Crist a l'escena El Camí del Calvari

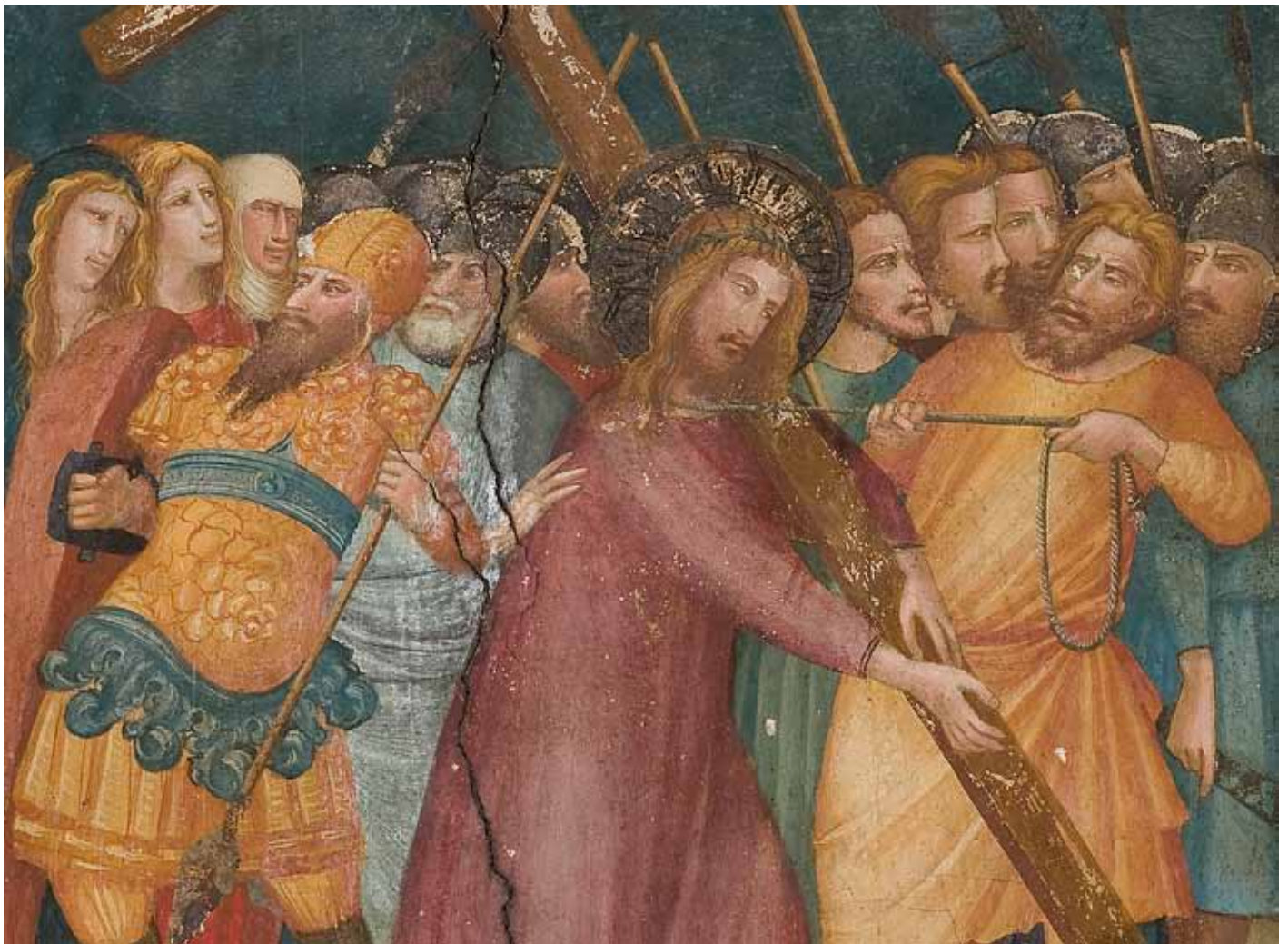
Stratigraphic analysis of a micro-sample of red lake in Christ's tunic. Scene depicting the Path to Calvary

32. Ja Teòfil esmenta aquesta capa de color gris fred, que ell denomina *veneda*, una base sota els blaus que s'aplicaran posteriorment. El *veneda* s'aplica al fresc, emprant el pigment negre vinyes i l'hidròxid càlcic. THEOPHILUS, *On Divers Arts* (tit. original *Schedula diversarium artium*, trad. a l'anglès i notes de J. G. Hawthorne i C. Stanley Smith), Nova York, Dover Publications, 1979, I, XV, pàg. 23.

33. Com hem dit més amunt, el bon estat de conservació dels fons blaus d'atzurita pot relacionar-se amb la utilització d'algun aglutinant que suporti l'envelliment del pas del temps. En el cas de l'atzurita, Cennini recomana emprar-la al mur al sec, lligada amb tremp de cola o de rovell d'ou. És possible que aquest últim sigui present als blaus de Pedralbes, encara que la poca quantitat de material proteic identificat fa necessari seguir completant l'estudi. CENNINI, *Il libro...*, LX, pàg. 102-103.

32. Centuries beforehand, Theophilus noted that blue should be applied on top of this cold grey layer, which he called *veneda*. *Veneda* was applied to the fresco layer using vine black and slaked lime. THEOPHILUS, *On Divers Arts* (original title: *Schedula diversarum artium*, English translation and notes by J. G. Hawthorne and C. S. Smith), New York, Dover Publications, 1979, I, XV, p. 23.

33. As mentioned, the azurite blue backgrounds may have been well conserved due to a binding agent that held up well during the ageing process. Cennini recommends using the *a secco* technique to apply azurite, which should be tempered and affixed with glue or egg yolk. The latter may have been used in the blue pigments in the Pedralbes monastery; in light of the small amount of protein-based material we detected, we will need to continue to study this issue in more detail. CENNINI, *Il libro*, LX, p. 102-103.



Blanc de plom
colorant vermell
White lead
Red colourant

INTONACO



fetes amb blau d'indi i negre. El blau d'indi és un color que sol esvair-se a causa de la llum i podria haver contribuït a la pèrdua de matisos als vestits.

L'atzurita també s'ha aplicat de manera molt localitzada sobre un estrat de color vermell fosc, fet amb terres a base d'òxids de ferro i aplicat al fresc, als motius geomètrics de la sanefa, a fi i efecte que el blau adquireixi una tonalitat més violàcia, més propera al blau ultramar. Aquest blau es manté bé, però el pintor va aplicar-lo en una capa molt prima, on és possible apreciar, sense interferències, la gruixuda granulometria del pigment. Com a alteració del pigment, hi ha casos aïllats de

helped wash out some of the detail in the clothing.

In a few concrete cases, azurite was also applied on top of a dark red fresco layer made with iron oxide-based pigments. These were used in the geometric motifs in the friezes, leading the blue to take on a tone that tended towards violet and was more typical of lapis lazuli. This blue held up well, but the painter applied only a very thin layer of it, and consequently, we can clearly see the pigment's thick granulometry.

There are also isolated cases where azurite was transformed into a green-coloured pigment. In some cases, this

Alteració del vermell de cinabri de la túnica d'un soldat a l'escena de L'oració a l'hort i el Prendiment

Red cinnabar in a soldier's tunic was altered in the scene of the Prayer in the Garden and the Arrest of Jesus



transformació, per causes diverses, de l'atzurita en un pigment de color verd. En unes ocasions es tracta d'un fenomen associat a l'acció de l'aigua que va filtrar-se durant un temps pel mur sud-est de la capella i va afectar els fons blaus al voltant d'una esquerra que deixava pas a la humitat. En altres, és un efecte de degradació del pigment, provocat involuntàriament pel pintor mateix en el procés d'execució dels murals. Això es pot observar al voltant d'alguns nimbes en l'escena principal, el Triomf de la Verge, on es veu la transformació del color blau original en un verd clar molt intens quan l'artista incidí sobre l'*intonaco* amb el ganivet per retallar el full d'estany colrat sobrant. Probablement, el pigment blau entraria en contacte amb la humitat del morter, transformant-lo en un altre carbonat de coure (malaquita).³⁴ Una altra possibilitat és que no es tracti de malaquita, sinó de clorurs de coure (atacamita o paratacamita, de color verd clar), que es formen en entrar en contacte el pigment amb l'ió Cl.³⁵ Finalment, podem observar una altra alteració del pigment provocada directament per l'aplicació de la tècnica, quan en pintar al sec utilitzant el blanc de calç, el pintor passà, esporàdicament, pel damunt d'una zona amb atzurita. En aquest cas,

34. En aquesta transformació els cristalls de malaquita mantenen la seva forma, de manera que l'únic canvi a simple vista és el color.

35. Luigi DEI, Andreas AHLE, Piero BAGLIONI, Daniela DINI, Enzo FERRONI, «Green degradation products of azurite in wall paintings: identification and conservation treatment», *Studies in Conservation*, 43, 2, 1988, pàg. 80-88.

came about because water leaked into the blue backgrounds surrounding a crack in the southeast wall of the chapel, letting in humidity for a period of time. In others, it was related to the degradation of the pigment, a process the painter himself accidentally caused when painting the murals. This effect is visible around some of the aureoles in the main scene, the Triumph of the Virgin, where the original blue colour was transformed into an intense light green when the artist used a knife to cut the excess bronzed tin leaf from the *intonaco*. The blue pigment probably came into contact with the humidity in the mortar, transforming it into another copper carbonate, malachite.³⁴ Alternatively, this might not be malachite, but rather, copper chloride (atacamite or paratacamite, both of which are light green), which was formed when the pigment came into contact with the Cl⁻ ion.³⁵

Finally, another azurite alteration came about because of the painting technique: when the painter used lime white to paint *a secco*, he sometimes painted over an area done with azurite. When the artist painted over the blue pigment with this white colour, the alkalinity of the lime white transformed the underlying pigment into copper oxide.³⁶ This later

34. The malachite crystals kept their shape, so the only visible change was in the colour.

35. Luigi DEI, Andreas AHLE, Piero BAGLIONI, Daniela DINI, Enzo FERRONI, «Green degradation products of azurite in wall paintings: Identification and conservation treatment», *Studies in Conservation*, 43, 2, 1988, p. 80-88.

36. For more information on this transformation, see

l'alcalinitat de la pinzellada blanca transformà en òxid de coure el pigment blau subjacent,³⁶ que experimenta una oxidació per contacte i es torna d'un color bru, parcialment soluble, que ha impregnat també la massa de la pinzellada blanca.

La utilització de laques i colorants vermells

La túnica de Crist, entre altres elements, s'ha pintat amb un color púrpura que en alguns casos s'ha anat desprenent de l'*intonaco* en forma de petites escates disperses que acaben essent llacunes importants i, fins i tot, pèrdues quasi totals. S'observa una certa tendència que aquest fenomen es produeixi de manera preferent als plecs foscos de les túniques, mentre que les zones clares fetes amb blanc de plom són més resistents. En canvi, no s'hi observa cap descoloriment significatiu. Aquests púrpures vistos amb llum ultraviolada presenten una forta fluorescència taronja-rosada que podria correspondre a la presència d'una laca vermella, possiblement la laca procedent d'alguna planta de la família de les *Rubiaceae* (laca de roja). En aquest sentit, els resultats de les anàlisis instrumentals identifiquen un colorant vermell, sense més precisió, mesclat amb carbonat de plom i un oli assecant com aglutinant. Es dona la circumstància que la laca de roja, a banda de presentar habitualment una forta fluorescència taronja, és la més econòmica de les laques procedents d'insectes i la menys fotosensible, elements que podrien coincidir amb el nostre cas.

La mescla amb pigment blanc proporciona opacitat i major estabilitat front la degradació de la llum a la qual són proclius totes les laques,³⁷ per la qual cosa el deteriorament pot estar relacionat amb l'efecte barrera del film que genera la mescla amb el lligant, en aquest cas l'oli, tal com s'ha plantejat amb el *verdigris*.

Pel que fa als violacis o malves al sec només coneixem amb un cert detall la barreja de pigments i colorants emprada per fer una policromia esgrafiada sobre metall (Triomf de la Verge). En aquest cas s'han obtingut mesclant el colorant vermell amb pigments minerals, com el blau d'atzurita i el blanc de plom, que han proporcionat, igualment, major estabilitat front l'acció de degradació de la llum, a la qual els colorants són tan sensibles. Però, probablement, l'oxidació del metall subjacent

oxidised and turned into a brown, partially soluble colour that impregnated the area that had been painted white.

Lakes and red colourant

Jesus' tunic was one of several elements painted with a purple colour that sometimes flaked off the *intonaco* in small, scattered areas. These ended up turning into major gaps and, in some cases, nearly total losses, especially in the dark folds of tunics; lighter areas painted using white lead held up better. However, no major discolourations were visible. Under ultraviolet light, these purple colours gave off strong orange and pink fluorescence, which may indicate that a red lake was used; this lake may have been derived from a plant in the *Rubiaceae* family (madder). Our instrumental analyses identified a red colorant that had been mixed with lead carbonate and a drying oil that served as a binding agent. In addition to its strong orange fluorescence, madder is also the least expensive, least photosensitive insect-based lake; such properties further support the idea that the colorant was used in this work.

All lakes are susceptible to light-related degradation, but when this one was mixed with the white pigment, it gained body (opacity) and greater stability.³⁷ Consequently, deterioration may be tied to the filmy barrier produced when mixing the lake with the binding agent (in this case, oil), as we suggested was the case for the *verdigris*.

As for the violet or mauve colours painted using the *a secco* technique, we have a limited knowledge of the mixture of pigments and colourants used to create the *sgraffito* polychromy on metal in the Triumph of the Virgin. These were obtained by mixing the red colourant with mineral pigments like azurite blue and white lead, which were less susceptible to light-induced degradation. Again, however, oxidation of the underlying metal and the layers of linseed oil gave rise to serious alterations in these layers, causing the polychromy to disappear almost completely.

Vermilion / cinnabar

Though we did not conduct an instrumental analysis, visual observation of the work allowed us to identify sections that were almost

36. Sobre aquesta transformació, vegeu: Rutherford J. GETTENS, Elisabeth W. FITZHUGH, «Azurite and Blue Verditer» dins Ashok ROY, *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*. Cambridge i Washington, Cambridge University Press i National Gallery of Art, 1993, II pàg.27

37. HOWARD, *Pigments of English...*, pàg. 124-125.

Rutherford J. GETTENS, Elisabeth W. FITZHUGH, «Azurite and Blue Verditer», in Ashok ROY, *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, Cambridge and Washington, Cambridge University Press and National Gallery of Art, II, 1993, p. 27.

37. HOWARD, *Pigments of English*, p. 124-125.

i, una vegada més, les capes d'oli de llinosa han provocat una alteració molt severa d'aquestes capes, de manera que la policromia gairebé ha desaparegut per complet.

El vermelló o cinabri

L'observació directa de l'obra ha permès identificar els elements que amb quasi tota seguretat, i a falta de fer-ne l'anàlisi instrumental, han estat realitzats amb cinabri.³⁸ El reconeixem per la seva coloració vermella viva i també per les alteracions que li són pròpies, com ara el conegut fenomen d'ennegrimment causat per la seva transformació en metacinnabrita, la modificació grisosa o negra del pigment. Tradicionalment s'ha relacionat aquesta transformació amb l'exposició del pigment a la llum,³⁹ però la irregularitat d'algunes zones afectades —exposades a la llum d'igual manera—, suggereix, d'una manera molt gràfica, la concurrència forçosa d'altres factors. Estudis recents⁴⁰ han analitzat exemples de vermelló alterat on s'ha detectat la presència de clorurs, seguint la hipòtesi que aquest podria ser un dels desencadenants de l'esmentada transformació, junt amb la humitat i la llum. Però el debat científic encara continua obert.

Ara per ara, és complex determinar definitivament la causa de l'alteració i caldrà analitzar altres factors, com el tipus de lligant —aquós o no—, la presència d'impureses, la mòlta del

certainly created using cinnabar.³⁸ This pigment can be recognised by its red colour and its characteristic alterations, such as the well-known darkening phenomenon that arises when it is transformed into metacinnabar, the grey or black variation of the pigment. Traditionally, this transformation has been associated with light exposure,³⁹ but in our case, given that all areas were exposed to identical light but the transformation only took place in some of them, we have quite visible evidence that other factors also played a role. Recent studies⁴⁰ have analysed deteriorated vermilion samples and detected the presence of chloride, supporting the hypothesis that this element, along with humidity and light, may have caused blackening. However, the scientific verdict is still out.

At this point, it is difficult to draw definitive conclusions about what caused this darkening, and we will need to analyse other factors, such as the type of binding agent used (aqueous or not), whether impurities are present, the way in which the pigment was ground, the porosity of the mortar, pH changes in the pictorial layer, and products added in previous restorations. These factors may also have acted in combination. As indicated in the bibliography cited herein, we should be highly conscious of the role humidity may have played, as it is the ideal vehicle for transporting various substances between the layers in the wall painting and may therefore have led to cinnabar dark-

38. Pensem que el vermell que es va utilitzar a la capella és el cinabri artificial, perquè en aquella època ja s'havia estès el seu procés de síntesi en sec, a partir de mercuri i sofre. Cennino Cennini comenta que és un color que es fa per alquímia, és a dir, químicament. CENNINI, *Il libro...*, XL, pàg. 91-92. El que no exclou, però, és el fet que pugui tractar-se del cinabri natural molturat que s'emprava des de l'antiguitat clàssica, cosa que seria més improbable, ja que el seu ús va començar a decaure a partir de l'edat mitjana, precisament amb l'auge de la seva fabricació. No obstant això, els resultats de les anàlisis fetes a l'espai contigu a la capella (tomba de la reina) han identificat la presència de cinabri natural. CETEC PATRIMONI, «Estudi analític per a...».

39. Cennini ja adverteix que el pigment ennegreix en contacte amb l'aire, sobretot en mur, més que en pintura sobre taula. CENNINI, *Il libro...*, XL, pàg. 91-92. També Plini i Vitruvi fan menció de l'ennegrimment del cinabri, en aquest cas, natural.

40. Marika SPRING, Rachel GROUT, «The Blackening of Vermilion: An Analytical Study of the Process in Paintings», *Technical Bulletin* (Londres), 23, 2002, pàg. 50-61; Marine COTTE, Jean SUSINI, V. Armando SOLÉ, Yoko TANIGUCHI, Javier CHILLIDA, Emilie CHECROUN, Philippe WALTER, «Applications of synchrotron-based micro-imaging techniques to the chemical analysis of ancient paintings», *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* (Cambridge), 23, 2008, pàg. 820-828; F. DA PIEVE, C. HOGAN, D. LAMOEN, J. VERBEECK, F. VAN MEERT, M. RADEPONT, M. COTTE, K. JANSSENS, X. GONZE, G. VAN TENDELOO, «Casting light on the darkening of colors in historical paintings», *Rhys. Rev. Lett.*, 111, pàg. 208302-208307.

38. We believe that the red used in the chapel was artificial cinnabar; by that time, using the dry process to prepare vermilion from mercury and sulphur had become commonplace. Cennino Cennini mentions that the colour was made via alchemy, i.e. chemically. (CENNINI, *Il libro*, XL, p. 91-92.) That said, the work may still have been executed using the natural grinding process that had been employed since classical antiquity. This is less likely, since the popularity of natural cinnabar began to dwindle in the Middle Ages when the artificial manufacturing process was discovered. Nonetheless, the analyses conducted in the adjacent room (the Queen's Tomb) detected natural cinnabar. CETEC PATRIMONI, «Estudi analític...».

39. Cennini pointed out that the pigment blackens when exposed to the air; this blackening was more pronounced on walls than on panels. CENNINI, *Il libro*, XL, p. 91-92. Based on their observations of natural cinnabar, Pliny the Elder and Vitruvius also noted that cinnabar darkened.

40. Marika SPRING, Rachel GROUT, «The Blackening of Vermilion: An Analytical Study of the Process in Paintings», *Technical Bulletin* (London), 23, 2002, p. 50-61; Marine COTTE, Jean SUSINI, V. Armando SOLÉ, Yoko TANIGUCHI, Javier CHILLIDA, Emilie CHECROUN, Philippe WALTER, «Applications of synchrotron-based micro-imaging techniques to the chemical analysis of ancient paintings», *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* (Cambridge), 23, 2008, p. 820-828; F. DA PIEVE, C. HOGAN, D. LAMOEN, J. VERBEECK, F. VAN MEERT, M. RADEPONT, M. COTTE, K. JANSSENS, X. GONZE, G. VAN TENDELOO, «Casting light on the darkening of colors in historical paintings», *Rhys. Rev. Lett.*, 111, pàg. 208302-208307.

Alteració del mini de plom en les pinzellades d'una torxa de l'escena de L'oració a l'hort i el Prendiment

Minium in the brushstrokes of a torch was altered in the scene depicting the Prayer in the Garden and the Arrest of Jesus



pigment, la porositat del morter, els canvis de pH en l'estrat pictòric, els productes afegits en restauracions anteriors o les combinacions d'alguns d'aquests aspectes. Tal com es fa palès en la bibliografia, la humitat és un factor que cal tenir molt en compte, ja que representa el vehicle ideal per al transport de substàncies diverses entre els estrats que componen la pintura mural i que podrien tenir una incidència en l'alteració del cinabri. Aquesta podria haver estat la causa que expliqués la transformació del pigment aplicat en la decoració d'una sanefa a la zona just a tocar la junta entre *giornate*.

Les pèrdues de policromia coincideixen principalment amb les tonalitats fosques, ja que se li superposen capes de laca roja, més impermeables, que produeixen un *strappo* per excés d'aglutinant. Però per precisar tot això caldrà fer més investigacions.

Mini de plom

El mini de plom (un òxid de plom) és un pigment vermell, però de tonalitat ataronjada, que es preparava, des de temps antics, artificialment. A les pintures de Pedralbes el trobem aplicat al sec, generalment per fer les decoracions dels rics teixits que acompanyen les figures. La majoria de vegades es combina amb vermelló, que aporta el color principal de fons, mentre que el mini es destina als detalls i acabats finals.⁴¹ L'hem localitzat al pali i els

ening. This might explain the transformation in the pigment applied to a decorative frieze in the area between *giornate*.

The original polychromy was lost mostly in the darker-shaded areas. These were painted over with layers of less permeable red lake, and the excess binding agent caused these areas to become detached. In any case, further research will be necessary to paint a more complete picture of this issue.

Minium

Minium (a lead oxide) is a red pigment with orange hues that has been prepared artificially since ancient times. In the chapel, it was applied *a secco*, usually to decorate the rich fabrics framing the figures. Minium was used for detail work and finishing touches and was usually combined with vermilion, which provided the main background colour.⁴¹ Our study found that minium was present in the pallium and the drapery around the main figure, the Virgin. In general, it was well-conserved. It seems to have been mixed with a thick binding agent that covered the pigment grains and prevented them from being transformed into lead dioxide (which is black in colour). That said, we did find one very visible example of this blackening in the flames of

41. Els murals de la capella reproduïxen, amb tota fidelitat, la pràctica que recull Cennini per imitar els

41. The wall paintings in the chapel faithfully followed the process Cennini laid out for imitating silk fabrics: "[...] se vuoi far drappo di seta, o in tavola o in muro, campeggi di cinabro e palia, o ver viticha, di minio [...] campeggia schura e palia chiaro". CENNINI, *Il libro*, CXLIV, p. 166-167.

cortinatges al darrere de la figura principal de la Verge. El seu estat de conservació és generalment bastant bo, ja que sembla estar barrejat amb un aglutinant de caràcter gras que recobreix els grans de pigment i n'impedeix la transformació en biòxid de plom, de color negre. Amb tot, hi ha algun exemple d'aquest ennegriment, molt palès, en la flama de les torxes que porten els soldats en l'escena del Prendiment. Ja Cennino ens prevé d'usar-lo al mur, perquè, si està en contacte amb l'aire, esdevé ràpidament negre i perd el seu color.⁴²

No es coneix exactament quin és el mecanisme d'alteració, encara que se sap que reacciona amb els sulfurs presents al medi. En aquest cas, l'aplicació del pigment, potser amb poc aglutinant, sobre una base de vermelló (sulfur de mercuri) podria haver estat una de les causes de la degradació.

Làmines metàl·liques

L'alteració més important, pel percentatge en què afecta al conjunt d'elements treballats amb aquesta tècnica, correspon sens dubte a les decoracions fetes amb làmines metàl·liques, tant pel grau de deteriorament com perquè implica de forma generalitzada tots els elements on han estat aplicades. Són fetes amb fulles de metall els nimbos, els filets que decoren les vores de totes les vestimentes, la decoració dels rics teixits i alguns detalls de les arquitectures, i també els vasos i les puntes de llança i els cascs dels soldats que en el seu conjunt enriqueixen els murs amb els seus reflexos metàl·lics. Inclouem aquí també la policromia esgrafiada. Gran part d'aquests elements ha desaparegut per complet, però les restes que han romàs, profundament alterades i ennegrides, manifesten una riquesa decorativa i l'aplicació d'un ventall amplíssim de tècniques.

Concretament en el cas de les làmines de plata o plata-estany, solament es conserven en bon estat a zones molt puntuals. La majoria estan molt ennegrides i només queden els productes de l'alteració, havent desaparegut sovint la plata metàl·lica (en una de les mostres han estat identificats sulfats i clorurs de plata).

El contacte amb l'atmosfera contaminada amb substàncies com el sulfur d'hidrogen, el sulfur de carboni i el clorur de sodi dona lloc a la formació de clorurs i sulfurs. Els clorurs provenen de l'espri marí propi d'una ciutat propera al mar com Barcelona, tot i que el clor i el sofre també poden provenir dels materials

the torches the soldiers are carrying in the scene depicting the Arrest of Jesus. Indeed, as minium rapidly blackens and loses its colour when it comes into contact with air, Cennino had warned against using it on walls.⁴²

We do not know exactly how the transformation process took place, but we do know that the minium reacted to sulphur in the environment. In this case, the fact that the pigment was applied over a vermilion undercoat (mercury sulphide) – perhaps using a small amount of the binding agent – may have contributed to this deterioration.

Metal leaf

Undoubtedly, the most important changes in the work pertain to the extensive metal leaf decorations used. These changes were significant both in terms of the degree to which the metal leaf deteriorated and the fact that it affected all of the areas where it was applied. Metal leaf was used to decorate the aureoles, the gilded edges of clothing, the richly embellished fabrics, some architectural details, the vases, the tips of the soldiers' spears and their helmets. As a whole, this metal leaf and the reflections it generated served to embellish the wall paintings, which was also the case with the *sgraffito* polychromy. The majority of this decorative work has been lost completely, but the significantly altered, darkened bits that do remain are richly decorative and demonstrate that an extremely wide range of techniques was utilised.

There are very few examples of the silver and silver-tin leaf surviving in good condition. Most of these elements have darkened significantly; often, the metal leaf disappeared entirely and the only traces of it lie in the products of the deterioration process. (For example, we detected sulphates and silver chloride in one of the samples.)

Contact with the environment – which was polluted by substances such as hydrogen sulphide, carbon disulphide, and sodium chloride – led to the formation of chlorides and sulphides. Chlorides came from the sea air typical of a seaside city like Barcelona; chlorine and sulphur may also have come from the materials that were used as binding agents, such as egg yolk or animal glue (i.e., the binding agents that were used to paint may have been the source of pollutants).

Metal leaf acted similarly to the Greek pitch described above, which was applied underneath the verdigris layer to insulate it.

teixits de seda: «[...] se vuoi far drappo di seta, o in tavola o in muro, campeggi di cinabro e palia, o ver viticha, di minio [...] campeggia schura e palia chiaro». CENNINI, *Il libro...*, CXLIV, pàg. 166-167.

42. CENNINI, *Il libro...*, XLI, pàg. 92.

42. CENNINI, *Il libro*, XLI, p. 92.

que s'utilitzen com a adhesius, com el rovell d'ou o les coles animals (és a dir, que els lligants mateixos emprats per pintar poden haver constituït una font de contaminants).

Aquestes làmines metàl·liques han exercit una acció similar a la que hem vist anteriorment amb l'estrat de colofònia aplicat com a aïllant sota la capa *verdigris*. Una làmina no permet el pas del vapor d'aigua, i entre la làmina i l'*intonaco* es poden formar cristalls de clorurs o d'altres productes que generen clevelles que trenquen les zones febles. La corladura, mentre s'ha mantingut damunt el metall, l'ha protegit de l'acció ambiental, però un cop s'han obert vies de penetració de l'aigua, les alteracions han estat profundes.

Conclusions

Els tallers medievals buscaven els efectes de lluentor, lluminositat i transparència. Per aconseguir-los calia mesclar els pigments amb aglutinants orgànics que, malauradament, no són els més resistents al pas del temps. El sec emprat en aquesta pintura mural ha demostrat ser una tècnica pictòrica molt rica en matisos però propensa al deteriorament per la seva densitat o empastament, encara que amb una evolució desigual segons la tècnica específica i els components de cada zona pintada d'un color determinat. Pel seu abast, el despreniment del film pictòric selectiu i el deteriorament de les làmines metàl·liques són les alteracions que destaquen sobre moltes altres de menor envergadura.

En el moment d'execució de la pintura el pintor va fer l'elecció de materials que han definit l'evolució de l'obra. En uns casos va triar materials de baixa qualitat i, per tant, més susceptibles al deteriorament, com ara les làmines a base d'aliatge d'or amb baix percentatge d'aquest metall i la plata o la doble làmina d'estany-plata (quan el contracte especificava que s'utilitzés l'or fi). Una modificació que devia respondre a motius econòmics, ja que era ben conegut que aquests metalls s'oxidaven, tal com recullen els diversos tractats. El contacte d'alguns d'aquests metalls o dels seus productes d'alteració amb mordents o vernissos oliosos que contenien sals de coure ha provocat la formació de subproductes que alteren la visió d'algunes zones. Aquestes degradacions s'han vist afavorides per la participació dels agents mediambientals, com també hi poden haver intervingut altres components de la pintura mateixa.

Per contra, l'aplicació conscient d'una sèrie de capes aïllants per prevenir el pas de la humitat cap a certes capes pictòriques i evitar la reacció d'alguns pigment ha propiciat, a llarg

Water vapour cannot pass through metal leaf, and chlorides or other products can crystallise between the metal leaf and the *intonaco*, giving rise to fractures that lead to cracking in weak areas. When the gold-tinted varnish remained on the metal, it protected it from environmental factors, but once water started to seep through it, serious damage occurred.

Conclusions

Mediaeval workshops aimed to create bright, light and transparent works. To achieve these effects, they needed to mix pigments with organic binding agents, but unfortunately, these did not always stand the test of time. The painting at hand utilised the *a secco* technique, which proved to allow for a richness of detail but was also prone to deteriorate due to its density or thickness. That said, it should be noted that different parts of the work evolved in different ways depending on the specific techniques used and the colours with which each area were painted. Due to their scope, the loss of some parts of the pictorial layer and the deterioration of metal leaf proved to be the most significant alterations affecting this work.

The materials originally selected by the painter significantly influenced later changes that the work would undergo. In some cases, the artist selected low-quality materials which were consequently more likely to deteriorate, such as an alloy of gold leaf with a low percentage of gold as well as silver and tin double metal leaf; these were used despite the fact that the contract called for fine gold. This decision must have been made for financial reasons, since artists were well aware that these metals were prone to oxidation; indeed, this fact was well known and appears in several treatises. When some of these metals or their derivatives (the result of alterations) came into contact with oily mordants or varnishes containing copper salts, sub-products formed, changing the appearance of parts of the work. Environmental factors as well as other components in the paint itself further exacerbated this deterioration.

The painter also chose to apply a series of insulating layers to keep humidity from reaching some pictorial layers and prevent the pigments therein from reacting. In the long run, this caused part of the pictorial layer which was too thick, rigid, and impermeable to lift away from the underlying layers. Layers painted with drying oil – used as a binding agent, an insulating layer, or an adhesive for metal leaf – underwent the most

termini, l'alteració en forma d'aixecament d'una capa pictòrica que resulta massa gruixuda, rígida i impermeable. Els films en els quals participa l'oli assecant, sia en forma d'aglutinant o com a estrat aïllant o adhesiu de les làmines metàl·liques, són els més deteriorats, amb excepció dels que es combinen amb blanc de plom, que formen una patina molt resistent i prou elàstica. En canvi, els estrats fets amb determinats materials proteics han permès una certa porositat que els fa més estables als aixecaments.

Altres accions de la mà del pintor tenen un abast molt localitzat perquè es produeixen puntualment en la zona de confluència de materials que són incompatibles: les incisions per tallar l'estany, que provoquen la migració cap a la superfície de la humitat, que altera l'atzurita, la qual es transforma en un material de to verd intens; l'aplicació ocasional de pinzellades de blanc de calç sobre l'atzurita, que provoca l'ennegriments d'aquesta; o el contacte entre vermelló i mini de plom amb el consegüent ennegriments d'aquest últim.

Finalment, també cal tenir en compte altres processos de la tècnica d'execució que no es refereixen estrictament a la capa pictòrica però que han tingut una repercussió directa en el seu estat de conservació. Ens referim a la fase de preparació del mur per poder pintar al fresc. S'ha pogut constatar que l'aprofitament d'un enlluït preexistent, reciclat per funcionar com a *arriccio*, no ha ofert un ancoratge tan perfecte com si aquest s'hagués fet de bell nou, dotant-lo de la textura rugosa corresponent. Això es fa palès a les zones de les parets que més cops han sofert per obres de remodelació de l'espai, i on es concentren la majoria de bufats o separacions entre els estrats dels morters.

El pas del temps també ha posat en evidència algunes impureses contingudes en la pasta de l'*intonaco*: petits percentatges del mineral mica, contingut natural de les sorres silícies amb les quals es va confeccionar el morter, han provocat micropèrdues a les zones que han estat més exposades a la humitat directa, com les parets sud-oest de la capella. Altres alteracions puntuals relacionades amb la tècnica d'execució dels morters són la presència d'alguns caells que emergeixen i deterioren puntualment la superfície pictòrica i que han completat el seu procés de transformació després de l'execució de la pintura, i han provocat microaixecaments a la zona del timpà. La causa d'una alteració tan localitzada la podem buscar, segurament, en el suport de la contrafaçana, orientada a Occident, al sol ponent i molt més exposada a la intempèrie que la resta de murs que conformen la capella.

serious deterioration, with one exception: those layers where drying oil and white lead were combined, forming a highly resistant, sufficiently flexible patina. In contrast, the layers made with certain protein-based materials proved to be sufficiently porous to avoid this lifting effect.

Other choices the painter made tended to have a much more localised effect; their impact was only visible in the area where incompatible materials were combined. This was the case where the tin was cut, drawing humidity towards the surface and thereby causing the azurite to take on an intense green colour; when white lime was applied onto azurite, causing darkening; and when vermilion and minium came into contact, leading the latter to blacken.

Finally, the stage of preparing the wall for the fresco also impacted the way it would hold up over time. Although this is not strictly related to the pictorial layer, it did have direct repercussions on conservation. The painters recycled a pre-existing coat of plaster and used it as the *arriccio*; our study revealed that this surface was not as ideal as a brand new, ruggedly textured coat would have been. This was clear in those parts of the walls which suffered through multiple renovations, where the detachment with void or separations between layers of mortar are particularly prominent and visible.

The passing of time also brought to light some impurities in the *intonaco*. Small percentages of mica, a natural mineral contained in the silica sand used to prepare the mortar, gave rise to tiny losses in areas most exposed to direct humidity, like the chapel's southwest-facing walls. The way the mortar was applied also led to another type of alteration: as expanding unslaked lime lumps appeared after the painting had been finished, they lifted up tiny areas in the tympanum, causing damage in these small parts of the pictorial surface. Such localised damage is undoubtedly related to the counter-façade, which faced west towards the setting sun and was much more exposed to the elements than the other walls in the chapel.