

Cristo Portacroce

REPORT TECNICO



Laboratorio Diagnostico per i Beni Culturali



Dipartimento di Beni Culturali
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Cristo Portacroce

(collezione privata)

Indagini diagnostiche, approfondimenti storico-tecnici e report a cura di:

Chiara Matteucci*, Martina Cataldo*, Gaia Tarantola*

Responsabile scientifico: Chiara Matteucci*

*Dipartimento di Beni Culturali, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Progetti correlati: Dalle trasparenze del glacis alla brillantezza dell'acrilico: tecniche e materiali tra il XV e il XX secolo; Best practice a supporto dell'autenticazione di dipinti.

(La realizzazione dei progetti è resa possibile grazie all'accordo culturale Unibo- Lumière Technology contratto n.80/2019 PROT.N.1323 del 09/09/2019 e ai fondi derivanti da R_PRIV – Progetti con fondi conto terzi, tariffario e contributi liberali (ACT_PR – Contratti conto terzi da fondi privati; SPP_PR – Contratti a tariffario da fondi privati; CNTR_LB_PR – Contributi liberali da fondi privati).

Ravenna, aprile 2022


ALMA-MATER STUDIORUM
Università di Bologna - sede di Ravenna
Dipartimento di Beni Culturali
Via degli Ariani, 1 - 48121 Ravenna RA

Indice

1. Indagini multispettrali per la valutazione dello stato di conservazione e della tecnica esecutiva

- 1.1. Fotografia in UV di fluorescenza
- 1.2. Microscopia digitale

2. Analisi chimico-fisiche

- 2.1. Spettroscopia di fluorescenza di raggi X
- 2.2. Analisi della sezione stratigrafica

3. Considerazioni conclusive e approfondimenti storico-tecnici sui materiali e la tecnica esecutiva

Bibliografia e sitografia

Appendice 1. Risultati Spettroscopia di fluorescenza di raggi X

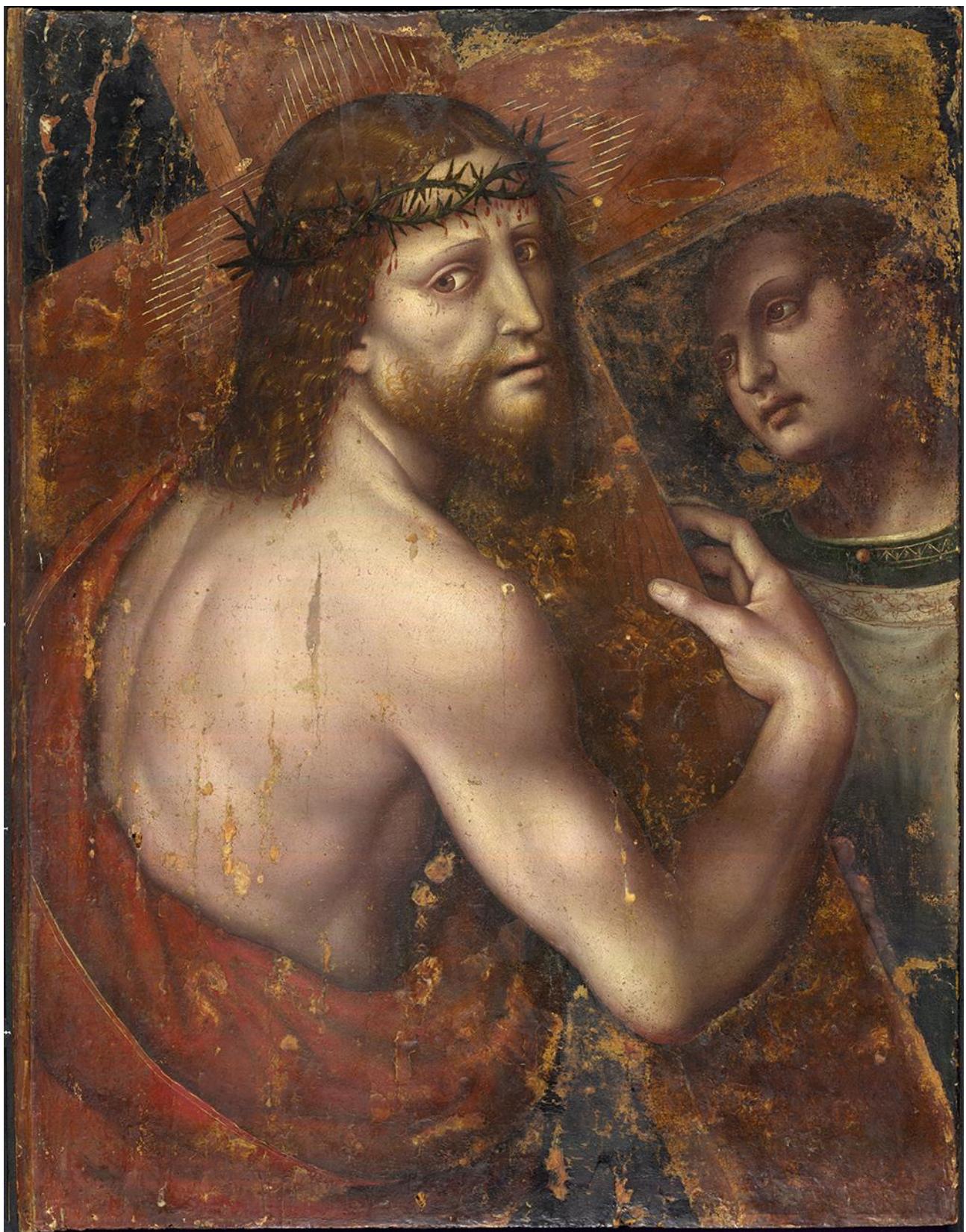


Figura 1. *Cristo Portacroce*, olio su tavola, 59,4 x 45,5 cm, collezione privata [fonte: Lumière Technology]

1. Indagini multispettrali per la valutazione dello stato di conservazione e della tecnica esecutiva

1.1. Fotografia in UV di fluorescenza

La fluorescenza visibile indotta da radiazione ultravioletta è una tecnica di indagine non distruttiva che consente sia di identificare, localizzare e valutare l'entità di interventi di restauro, di ritocchi precedenti e di eventuali attacchi microbiologici, sia di studiare la natura delle componenti che li costituiscono (ad es. pigmenti e inchiostri). Quando la superficie dell'opera viene irraggiata da questa radiazione, gli strati di materiale più superficiali la assorbono e riemettono una fluorescenza caratteristica visibile ad occhio nudo. Sia l'intensità che il colore della fluorescenza dipendono dalla composizione del materiale e dalla sua età: più il segnale è flebile, più è recente la sua applicazione.

Le riprese fotografiche sono state condotte utilizzando una macchina fotografica Nikon D800 (36 Mp) su cui è stato montato un obiettivo AF MICRO Nikkor 60 mm 1:2.8 con filtro Hama UV&IR CUT, tempo di posa 30s, ISO 100 e apertura f/11. Per le riprese in ultravioletto sono state utilizzate due sorgenti ultraviolette Mada Tec (con emissione a 365 nm).



Figura 2. Fotografia in UV di fluorescenza

1.2. Microscopia digitale

Questo tipo d'indagine, di tipo qualitativo, permette di effettuare una osservazione ed uno studio dettagliato della morfologia della superficie del manufatto senza comprometterne l'integrità, con la possibilità di visualizzare direttamente sull'opera particolari non visibili ad occhio nudo. L'indagine è stata condotta mediante un videomicroscopio Dino Light con ingrandimenti da 50x e 230x.

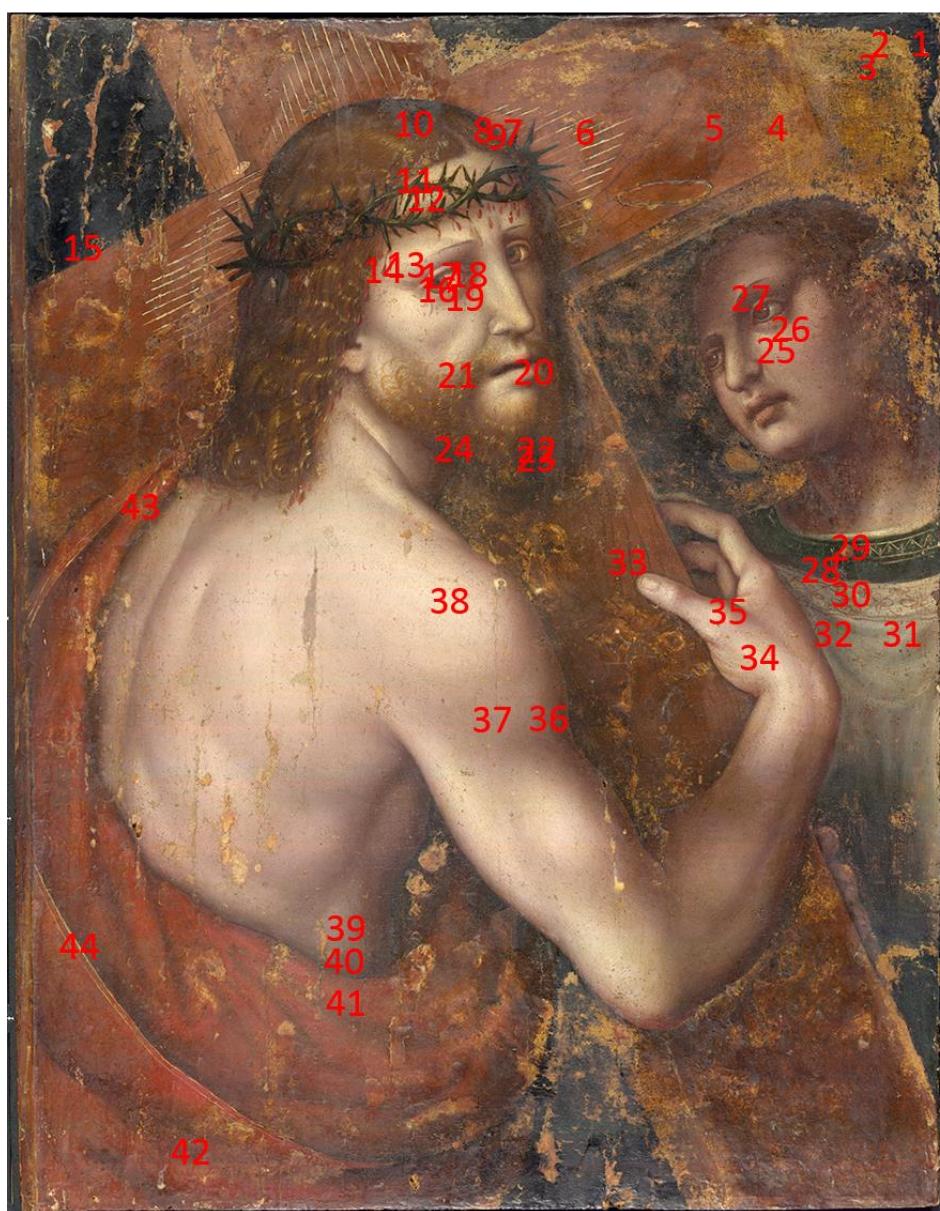


Figura 3. Punti di ripresa tramite videomicroscopia digitale, recto 1

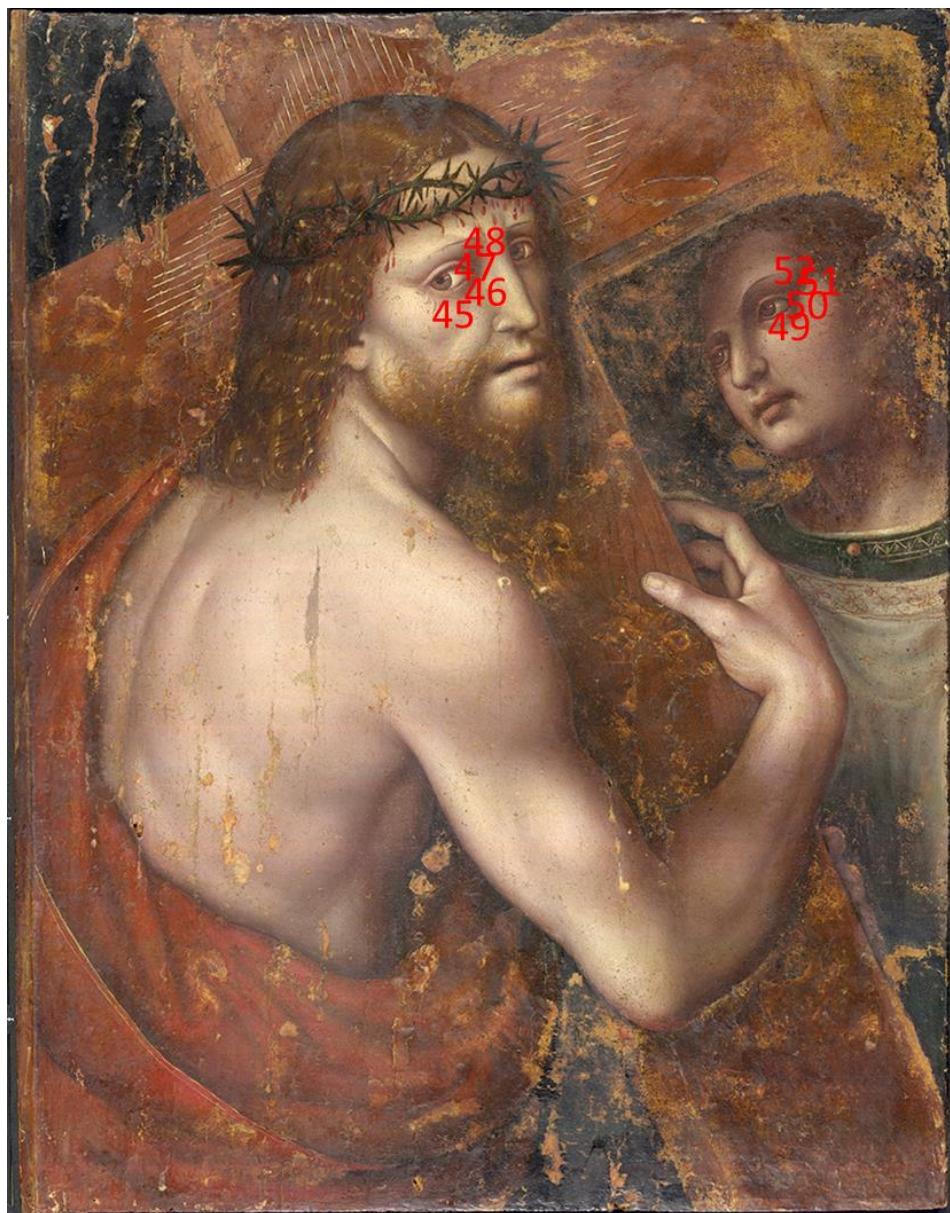
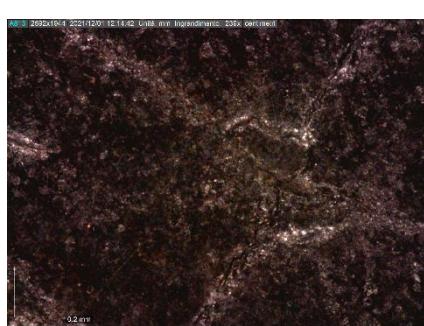


Figura 4. Punti di ripresa tramite videomicroscopia digitale, recto 2



Figura 5. Punti di ripresa tramite videomicroscopia digitale, verso
[fonte immagine del retro: Lumière Technology]



Videomicroscopia 230x, punto 1



Videomicroscopia 230x, punto 2



Videomicroscopia 230x, punto 3



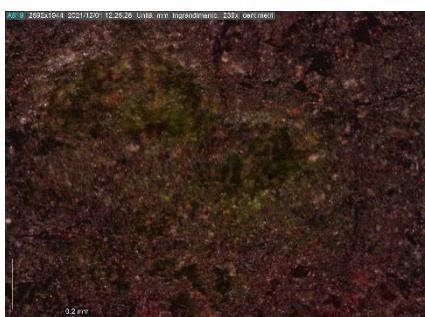
Videomicroscopia 230x, punto 4



Videomicroscopia 230x, punto 5



Videomicroscopia 230x, punto 6



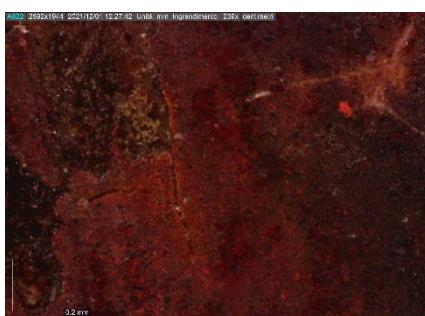
Videomicroscopia 230x, punto 7



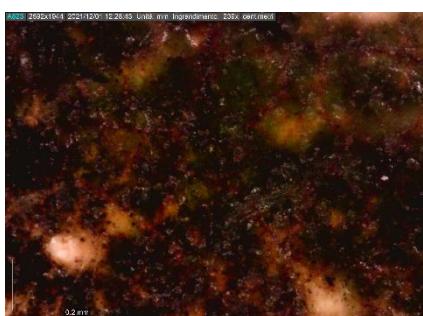
Videomicroscopia 230x, punto 8



Videomicroscopia 230x, punto 9



Videomicroscopia 230x, punto 10



Videomicroscopia 230x, punto 11



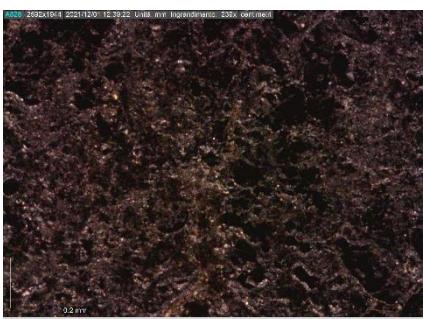
Videomicroscopia 230x, punto 12



Videomicroscopia 230x, punto 13



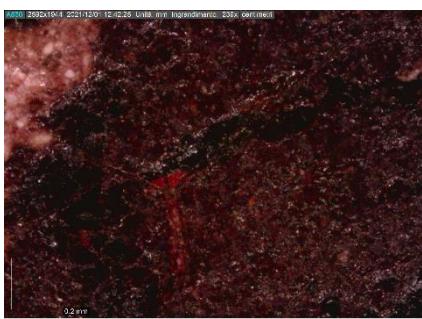
Videomicroscopia 230x, punto 14



Videomicroscopia 230x, punto 15



Videomicroscopia 230x, punto 16



Videomicroscopia 230x, punto 17



Videomicroscopia 230x, punto 18



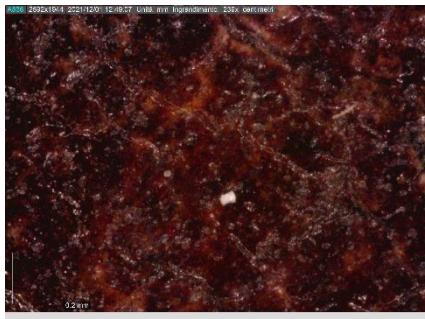
Videomicroscopia 230x, punto 19



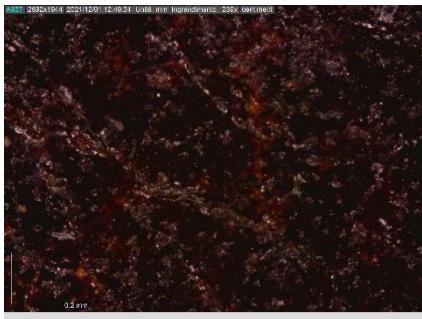
Videomicroscopia 230x, punto 20



Videomicroscopia 230x, punto 21



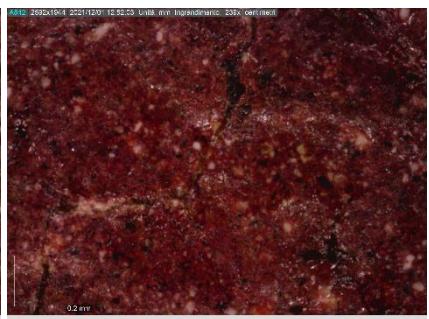
Videomicroscopia 230x, punto 22



Videomicroscopia 230x, punto 23



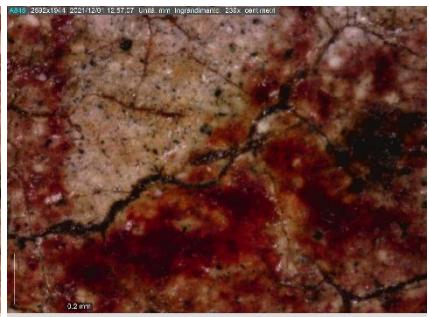
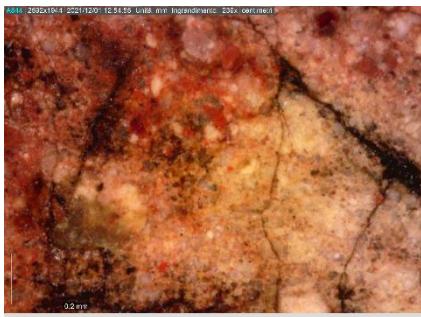
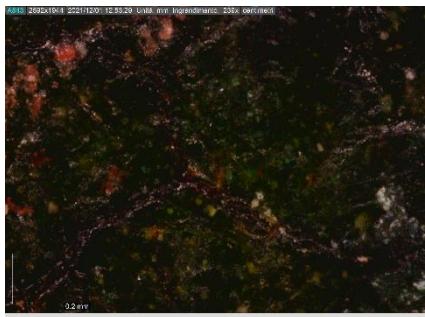
Videomicroscopia 230x, punto 24



Videomicroscopia 230x, punto 25

Videomicroscopia 230x, punto 26

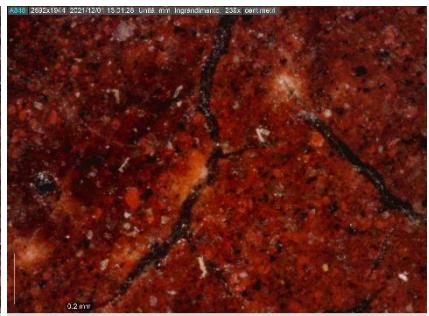
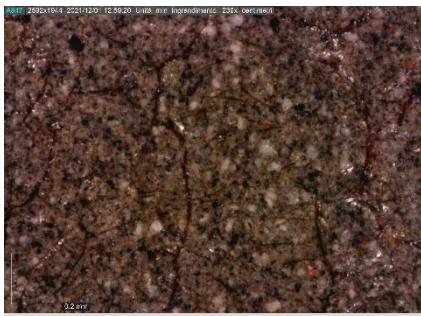
Videomicroscopia 230x, punto 27



Videomicroscopia 230x, punto 28

Videomicroscopia 230x, punto 29

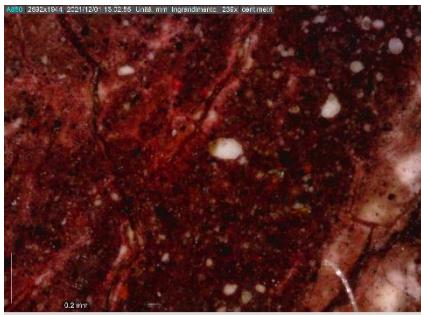
Videomicroscopia 230x, punto 30



Videomicroscopia 230x, punto 31

Videomicroscopia 230x, punto 32

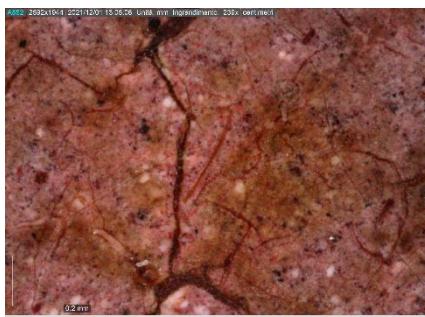
Videomicroscopia 230x, punto 33



Videomicroscopia 230x, punto 34

Videomicroscopia 230x, punto 35

Videomicroscopia 230x, punto 36



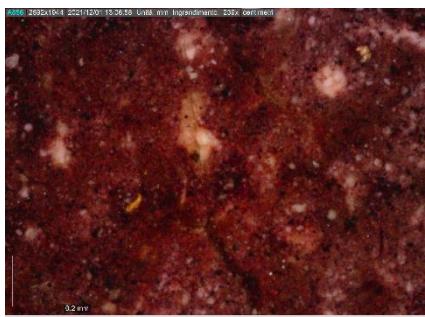
Videomicroscopia 230x, punto 37



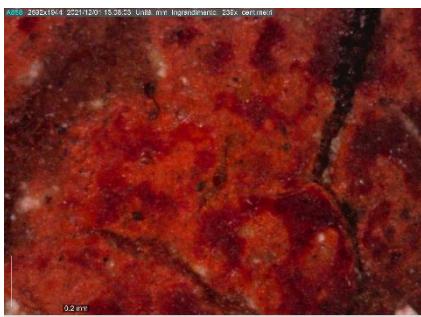
Videomicroscopia 230x, punto 38



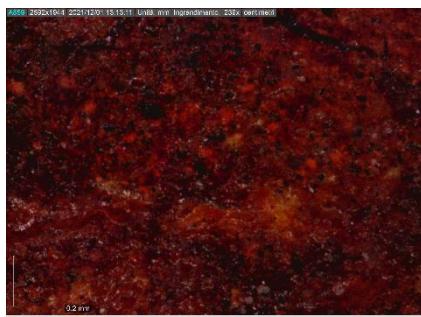
Videomicroscopia 230x, punto 39



Videomicroscopia 230x, punto 40



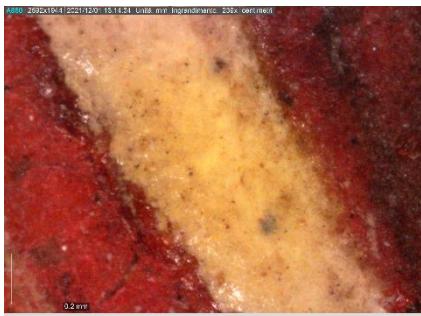
Videomicroscopia 230x, punto 41



Videomicroscopia 230x, punto 42



Videomicroscopia 230x, punto 43



Videomicroscopia 230x, punto 44



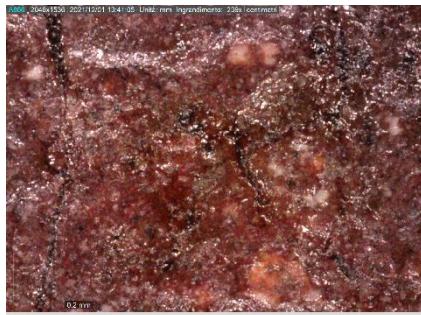
Videomicroscopia 230x, punto 45



Videomicroscopia 230x, punto 46



Videomicroscopia 230x, punto 47



Videomicroscopia 230x, punto 48



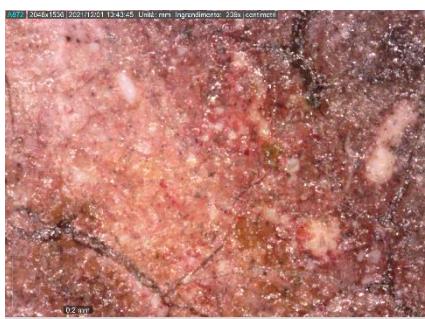
Videomicroscopia 230x, punto 49



Videomicroscopia 230x, punto 50



Videomicroscopia 230x, punto 51



Videomicroscopia 230x, punto 52



Videomicroscopia 50x, punto 53



Videomicroscopia 50x, punto 54

2. Analisi chimico-fisiche

La complessità strutturale di un dipinto, formato da più strati sovrapposti in grado di produrre un determinato effetto ottico, è accentuata dalla presenza di un alto numero di materiali, prevalentemente organici, derivanti anche da successivi interventi di restauro e da processi naturali di alterazione e degrado. L'interpretazione di tale struttura è affidata ad analisi non distruttive, come la spettroscopia di fluorescenza di raggi X, che, in un approccio più comprensivo ed integrato, vengono combinate con analisi micro distruttive, come la microscopia Raman, la microscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR) e la microscopia elettronica a scansione, condotte su sezioni stratigrafiche. Lo scopo è quello di caratterizzare e localizzare i materiali su ogni strato pittorico, al fine di identificare i costituenti presenti e, più in generale, indagare la tecnica esecutiva dell'artista.

La selezione dei punti di indagine relativi all'analisi in spettroscopia di fluorescenza di raggi X e all'esecuzione dei micro-campionamenti è stata operata mediante l'ausilio della fotografia in UV di fluorescenza.

2.1. Spettroscopia di fluorescenza di raggi X

In seguito all'eccitazione con la radiazione X ogni elemento emette una fluorescenza caratteristica che ne permette il riconoscimento da parte di un apposito sensore. Questa tecnica non distruttiva viene applicata su singoli punti dell'opera, e il risultato consente di individuare gli elementi chimici presenti nell'area esaminata, fatta eccezione per quelli leggeri fino all'alluminio. Poiché alcuni dei pigmenti più frequentemente utilizzati contengono elementi – o un insieme di elementi – caratteristici, è possibile, con una certa approssimazione, riconoscerli già con questa tecnica. I dati acquisiti possono essere confrontati con quelli di tecniche analitiche più selettive allo scopo di definire l'originalità e/o l'autenticità dell'opera. Va comunque precisato che la metodologia pone alcuni problemi dovuti alla sovrapposizione di righe spettrali e al fatto che il segnale acquisito si riferisca a più strati pittorici a partire dalla superficie. Infine, negli spettri riportati non è stata segnalata la presenza di tungsteno e di argon, il primo perché dipende dall'anodo dello strumento e

il secondo perché è rivelato in seguito all'interazione del fascio di raggi X con l'aria, prima di incidere sul campione.

Le analisi in fluorescenza di raggi X (XRF) sono state eseguite sulle principali campiture presenti nella tela: i punti d'analisi sono rappresentati in figura 6, mentre i risultati sono espressi nella tabella 1.

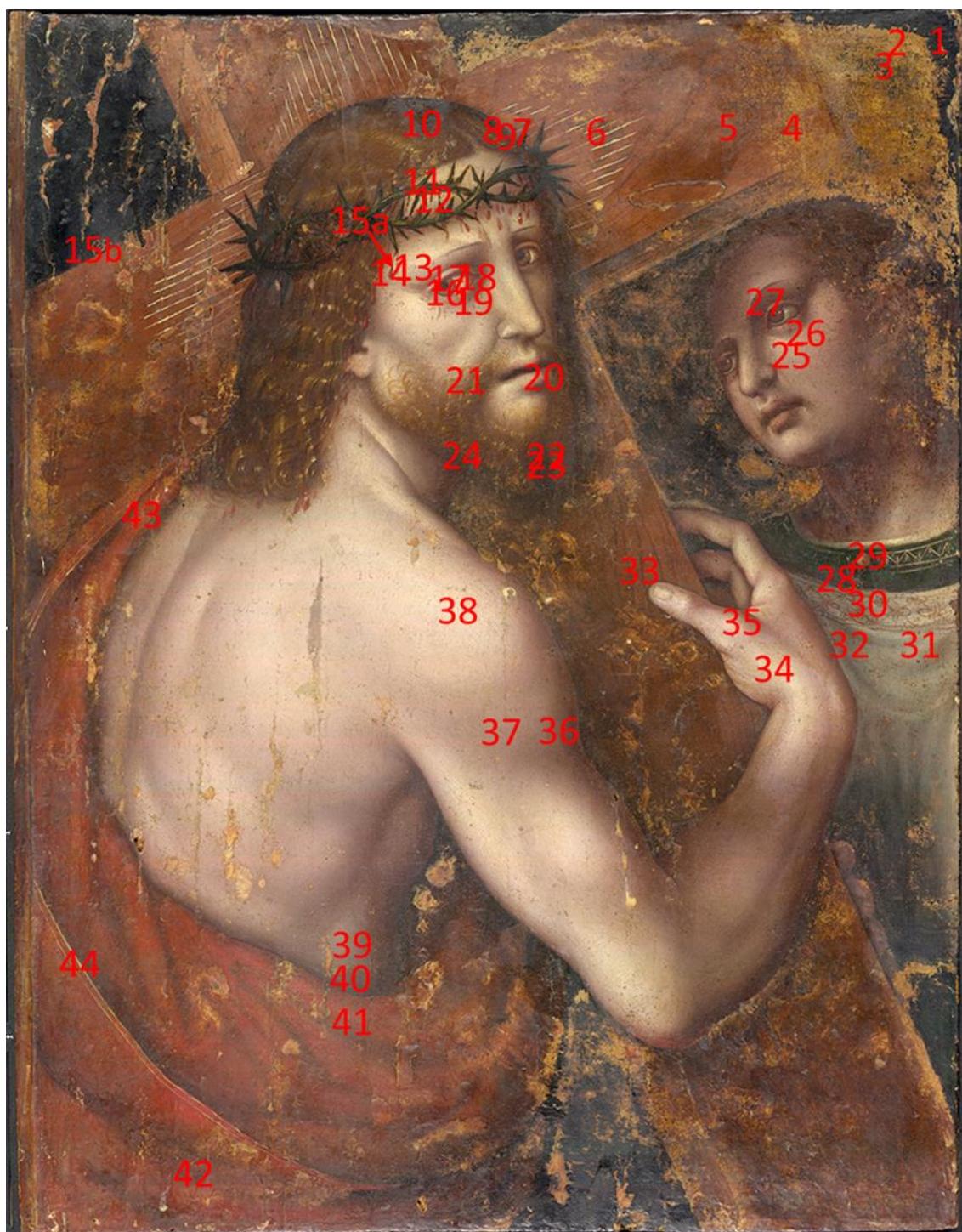


Figura 6. Punti di analisi XRF

Tabella 1. Punti di analisi e pigmenti identificati

N.	Area	Elementi	Pigmenti proposti per la campitura
1	Nero sfondo	P, Pb, Si, Hg, Cu, Fe, Ni, Mn, Ti, Sr, Ca, K,	Probabile nero d'ossa, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, terre, biacca
2	Preparazione a vista	S, Pb, Si, Cu, Fe, Sr, Ca, K	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre
3	Nero sfondo traccia	S, Pb, Zn, Cu, Fe, Ti, Sr, Ca, K	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre
4	Bruno croce	S, Pb, Si, Hg, Zn, Cu, Fe, Ti, Sr, Ca, K	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre, cinabro/vermiglione
5	Bruno croce (ritocco?)	Pb, Si, Hg, Zn, Cu, Fe, Ti, Sr, Ca, K	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre, cinabro/vermiglione, probabile composto a base di titanio
6	Nimbo dorato	Si, K, Ti, Fe, Ca, Cu, Hg, Pb, Sn	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre, cinabro/vermiglione, probabile giallo di piombo e stagno
7	Verde spina	Si, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb, Sr	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre, cinabro/vermiglione
8	Bruno capelli	Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Sr	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, terre, cinabro/vermiglione
9	Capelli riflesso	Si, S, Ca, K, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Sr	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, terre, cinabro/vermiglione
10	Capelli riflesso (ritocco?)	Si, S, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Cd, Pb, K	Composto a base di calcio, terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di cadmio, pigmento a base di cromo, probabile composto a base di titanio, biacca
11	Verde spina sopra incarnato	Si, K, Ca, Ti, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg, Sr	Composto a base di calcio, terre, pigmento a base di rame, cinabro/vermiglione, biacca
12	Incarnato fronte	Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, K	Composto a base di calcio, biacca, pigmento a base di rame, ocre/terre, cinabro/vermiglione
13	Incarnato luce fronte	Ca, Ti, Fe, Ni, Hg, Pb, Sr, K	Composto a base di calcio, biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione
14	Goccia sangue chiaro	K, Ca, Fe, Ni, Hg, Pb, Sr, Ti	Composto a base di calcio, biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione
15a	Goccia sangue scuro	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Si, Zn	Composto a base di calcio, biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame

15b	Copertura nera 2	P, S, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Pb, Sr, Mn, Si, Hg	Composto a base di calcio, probabile nero d'ossa, biacca, terre, pigmento a base di rame, cinabro/vermiglione
16	Iride bruno	Si, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr, Hg	Biacca, ocre/terre, pigmento a base di rame, cinabro/vermiglione, composto a base di calcio
17	Pupilla occhio	Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Pb, Sr, Hg	Biacca, probabile nero d'ossa, terre, pigmento a base di rame, composto a base di calcio, cinabro/vermiglione
18	Bianco occhio	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Pb, Sr, Cu, Hg, Si	Biacca, ocre/terre, composto a base di calcio, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame
19	Incarnato sotto occhio	Si, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
20	Labbra	Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Sr, K, Si	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
21	Barba 1	Si, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Hg, Pb, Sr, Cu	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, composto a base di calcio, pigmento a base di rame
22	Barba 2	S, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Sr, Si	Composto a base di calcio, biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame
23	Nero tra barbe	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr, Mn, Hg, Si, P	Composto a base di calcio, biacca, probabile nero d'ossa, terre, pigmento a base di rame, cinabro/vermiglione
24	Barba 3	K, Ca, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Sr, Ti, Si	Composto a base di calcio, biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame
25	Incarnato in luce	Ca, Ti, Fe, Ni, Hg, Pb, Si	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, composto a base di calcio
26	Incarnato in ombra	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Si, Sr	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
27	Incarnato in ombra scura	Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Si, P, Sr, K, Hg	Biacca, terre, pigmento a base di rame, composto a base di calcio, cinabro/vermiglione, probabile nero d'ossa
28	Verde bordo veste	Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, K, Ca, Ti	Ocre/terre, biacca, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
29	Bottoncino giallo	Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Pb, Sn, Sr, Si	Biacca, ocre/terre, probabile giallo di piombo e stagno, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
30	Decorazione rossa tunica	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Pb, Sr, Si	Biacca, ocre/terre, pigmento a base di rame, composto a base di calcio

31	Bianco tunica	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Pb, Sr, Si	Biacca, ocre/terre, composto a base di calcio
32	Ombra tunica bianca	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Pb	Biacca, ocre/terre, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
33	Bruno croce 2	Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Sr	Composto a base di calcio, biacca, terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame
34	Incarnato in luce	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
35	Incarnato in ombra	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
36	Incarnato in ombra	K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Ti	Biacca, terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
37	Incarnato mezza ombra	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
38	Incarnato luce	K, Ca, Ti, Fe, Ni, Hg, Pb	Biacca, ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio
39	Incarnato in luce	Si, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Hg, Pb	Biacca, ocre, composto a base di calcio, cinabro/vermiglione
40	Incarnato ombra ventre	Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Pb, Hg	Composto a base di calcio, biacca, terre, pigmento a base di rame, cinabro/vermiglione
41	Rosso veste	Si, S, K, Ca, Fe, Ti, Ni, Cu, Hg, Sr	Composto a base di calcio, biacca, cinabro/vermiglione, ocre/terre, pigmento a base di rame
42	Rosso veste	Si, S, K, Ca, Fe, Ti, Ni, Cu, Hg, Sr, Pb	Composto a base di calcio, biacca, cinabro/vermiglione, ocre/terre, pigmento a base di rame
43	Rosso veste	S, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Hg, Pb, Sr, Si	Composto a base di calcio, biacca, cinabro/vermiglione, ocre/terre
44	Decorazione dorata	Si, S, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Hg, Sr, Pb	Ocre/terre, cinabro/vermiglione, pigmento a base di rame, composto a base di calcio, biacca

- Si noti, in tutti i punti analizzati, la presenza di stronzio (Sr). Ciò è da attribuirsi probabilmente alla presenza di celestina, ovvero un minerale di solfato di stronzio (SrSO_4) di origine idrotermale e di solito associato a galena e blenda, o di origine sedimentaria evaporitica, dove si forma per evaporazione di acque salmastre. È correlato all'impiego di

un *ground* a base di gesso per la preparazione del supporto¹. È comune trovare questo minerale come impurezza del gesso proveniente, per quanto riguarda l'Italia, da giacimenti situati principalmente in Sicilia e in Romagna, ma anche nel Vicentino e nelle Marche, associato quindi a zolfo, gesso, aragonite, cloruri. Si trova anche in rocce sedimentarie calcaree, nelle solfatate e nei giacimenti saliferi².

¹ Per lo studio sulla preparazione si veda sezione - 2.2. *Analisi della sezione stratigrafica*.

² D'Angelini I. M., Carbone C., Nagostinis M., Parise M., Vattano M., Madonia G., De Waele J., 2018, *New insights on secondary minerals from Italian sulfuric acid caves*, in «International Journal of Speleology», XLVII, 3, pp. 271-291.

2.2. Analisi della sezione stratigrafica

Per poter approfondire lo studio della tecnica esecutiva del dipinto sono stati prelevati tre micro-campioni (Figura 7; Tabella 2). I frammenti sono stati inglobati in resina poliestere e lucidati con carte abrasive a diversa granulometria fino ad ottenere la sezione stratigrafica, così da poter analizzare ogni componente mediante diverse tecniche d'indagine.

I campioni ottenuti sono stati osservati tramite microscopia ottica in luce visibile ed ultravioletta³. La sorgente di luce UV fornisce informazioni aggiuntive ad una prima caratterizzazione della sezione, individuando meglio il numero e lo spessore degli strati, a volte non discriminabili in luce visibile, e dando un'idea del materiale organico presente, in base al colore con cui le diverse classi di materiali rispondono alla fluorescenza.

In seguito, le sezioni sono state analizzate tramite microscopia elettronica a scansione con microanalisi (SEM-EDX)⁴ e microscopia Raman⁵.

Il microscopio elettronico a scansione (SEM) permette l'osservazione ad elevato ingrandimento di campioni o oggetti di piccole dimensioni, con un'altissima risoluzione rispetto ad un microscopio ottico. Un fascio di elettroni incide sul campione, dando luogo a diversi fenomeni di interazione, rivelati da particolari *detector* che trasformano il segnale in immagini; è inoltre possibile accoppiare la tecnica EDS (Energy Dispersion X-ray spectroscopy) in grado di fornire lo spettro di un'area molto piccola (circa $1\mu\text{m}^3$) in un tempo rapido, anche se il limite di rilevabilità è piuttosto basso, impedendo di riconoscere la presenza di elementi in traccia (<1% in peso).

³ Il microscopio ottico utilizzato per l'osservazione dei campioni e la loro documentazione fotografica è un Olympus BX51M dotato di oculari con ingrandimento fisso 10x e diversi obiettivi con magnificazione 5x, 10x, 20x, 50x; per la luce bianca è stato usato un filtro U25LBD Olympus, mentre la sorgente UV è un Olympus U-RFL-T. L'acquisizione di immagini avviene con il software Primoplus tramite lo scanner Olympus DP70, direttamente connesso al microscopio.

⁴ È stato utilizzato un SEM Inspect S FEI con microsonda EDX Philips New XL-30; le analisi sono state effettuate su aree e punti per la caratterizzazione degli inclusi, a 30kV e 100 secondi di acquisizione.

⁵ È stato utilizzato un microscopio Raman Senterra della Bruker, con un laser 785nm. Gli spot indagati sono stati studiati con una potenza di 1mW e con *integration time* e *co-additions* variabili.

La tecnica Raman, frequentemente applicata ai beni culturali per la sua versatilità, è stata utilizzata sulle sezioni stratigrafiche al fine di avere una prima identificazione dei pigmenti utilizzati.

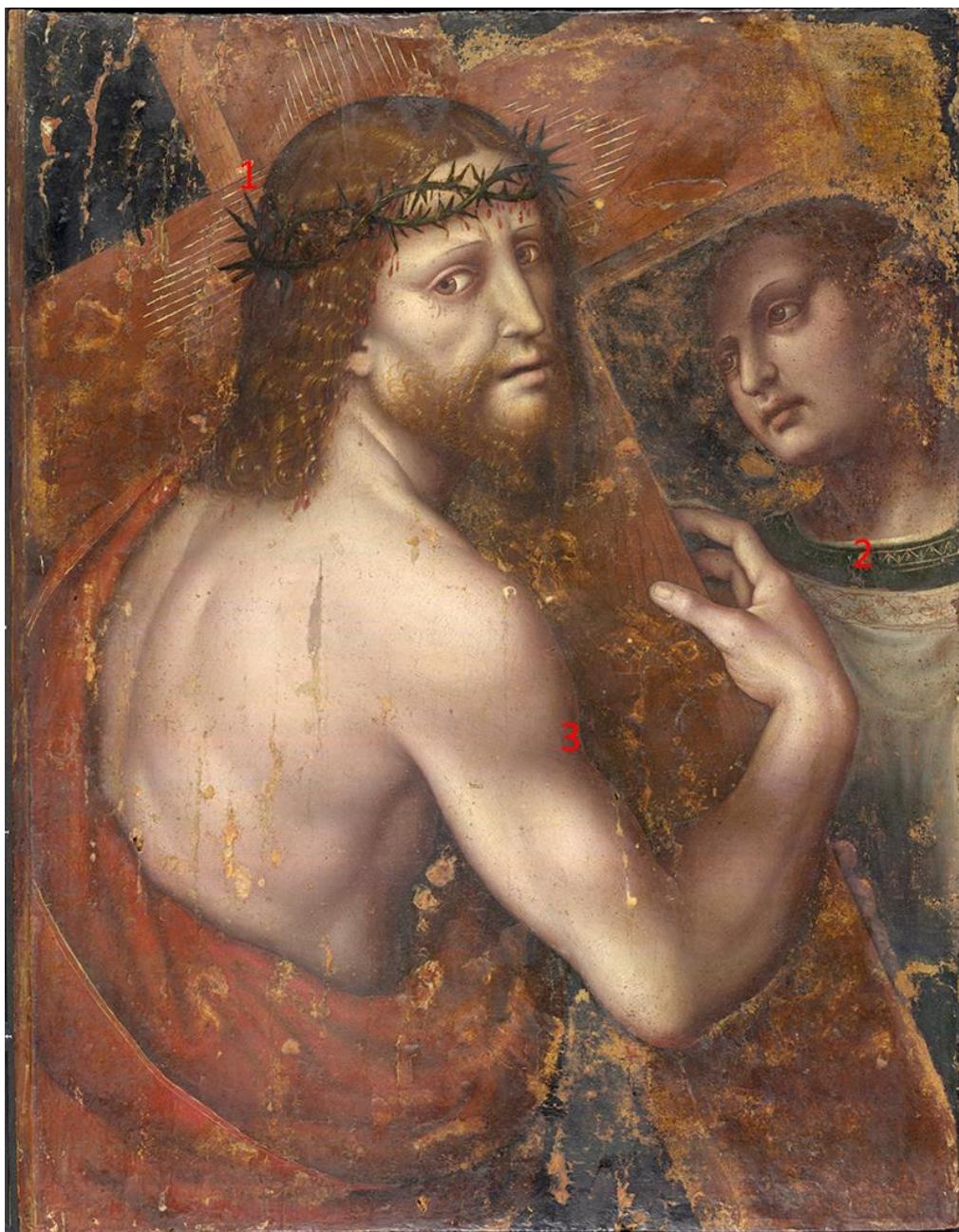


Figura 7. Punti di campionamento

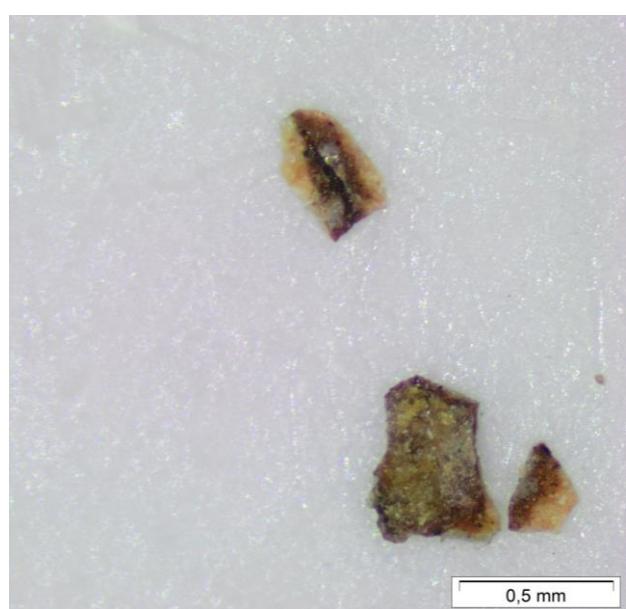
Tabella 2. Campioni prelevati

N.	Colore
1	Giallo nimbo
2	Giallo-rosso bottone
3	Incarnato in ombra

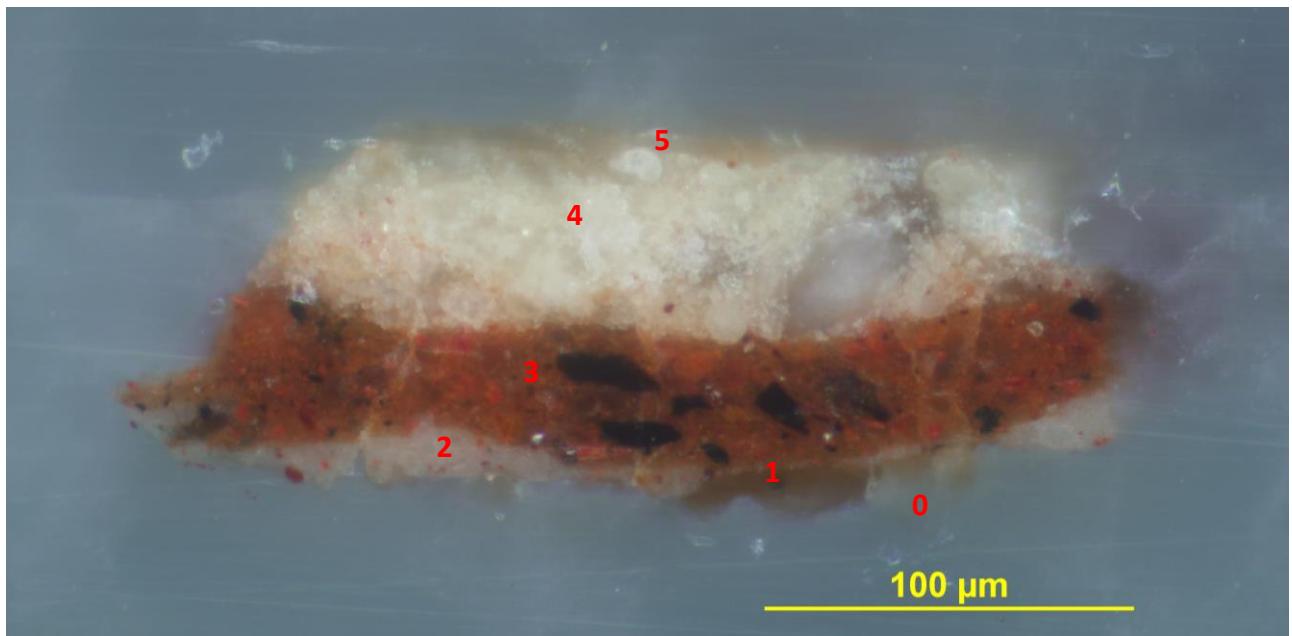
1. Campione Giallo nimbo



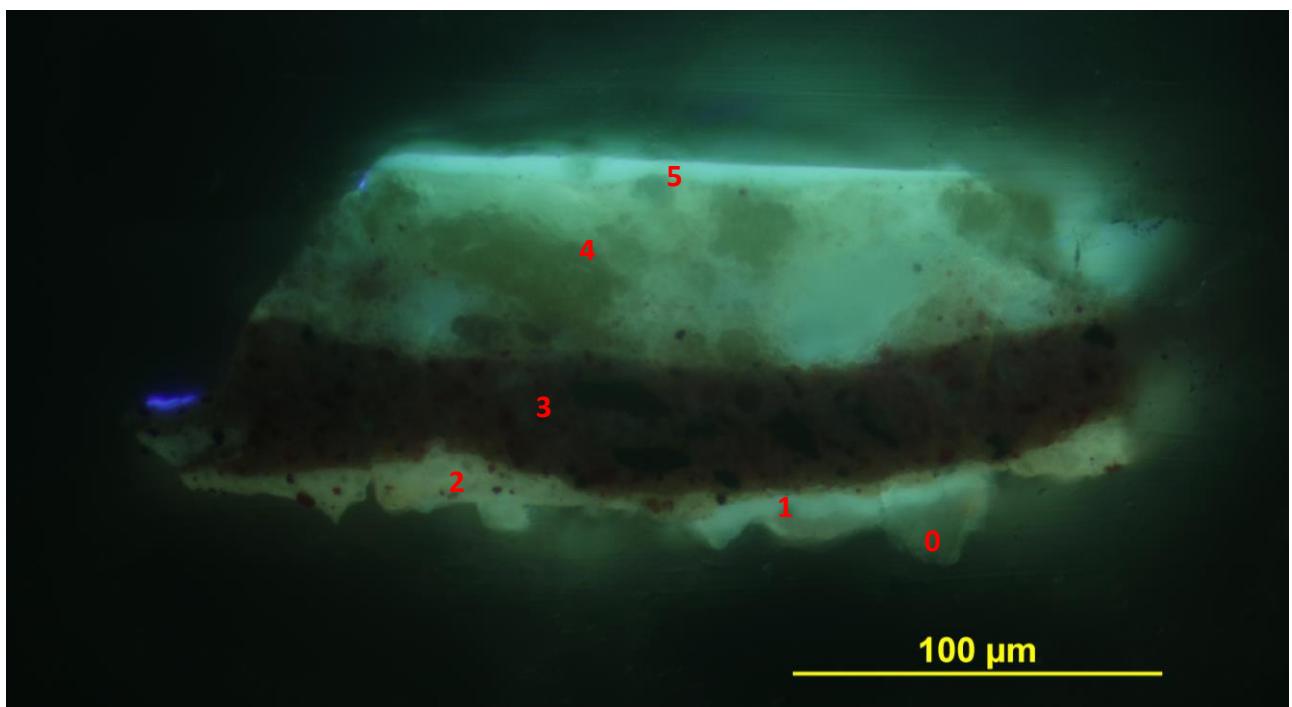
Figura 6. Punto di campionamento (*a sinistra*); videomicroscopia campionamento, 230x (*a destra*)



Fotografia del campione, stereomicroscopio 45x, luce visibile, fronte (*a sinistra*), retro (*a destra*)



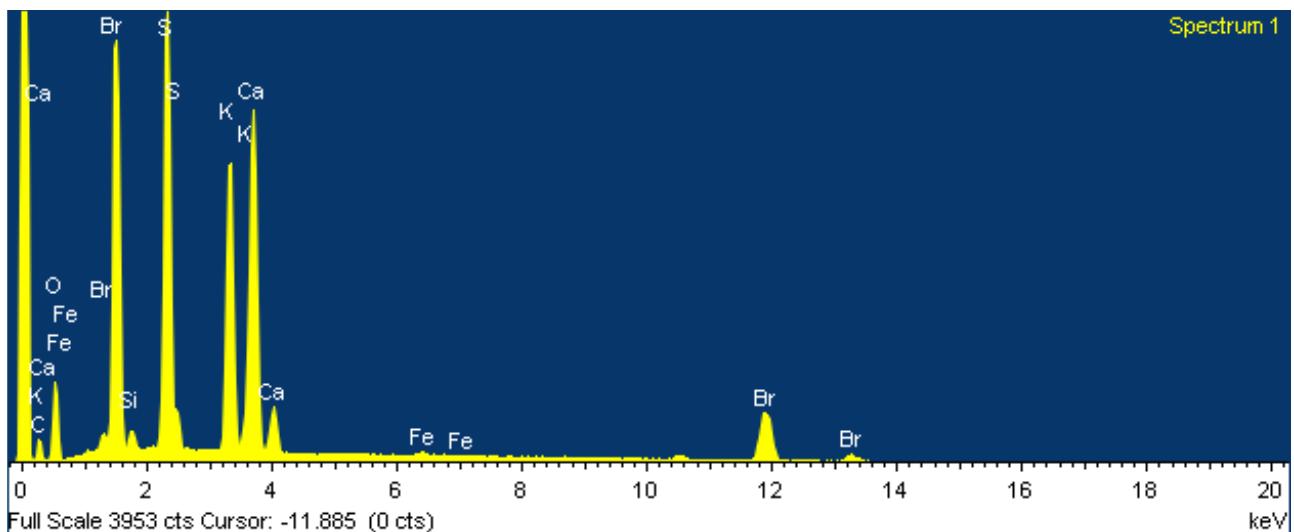
Fotografia della cross-section, microscopio ottico, 500x, luce visibile



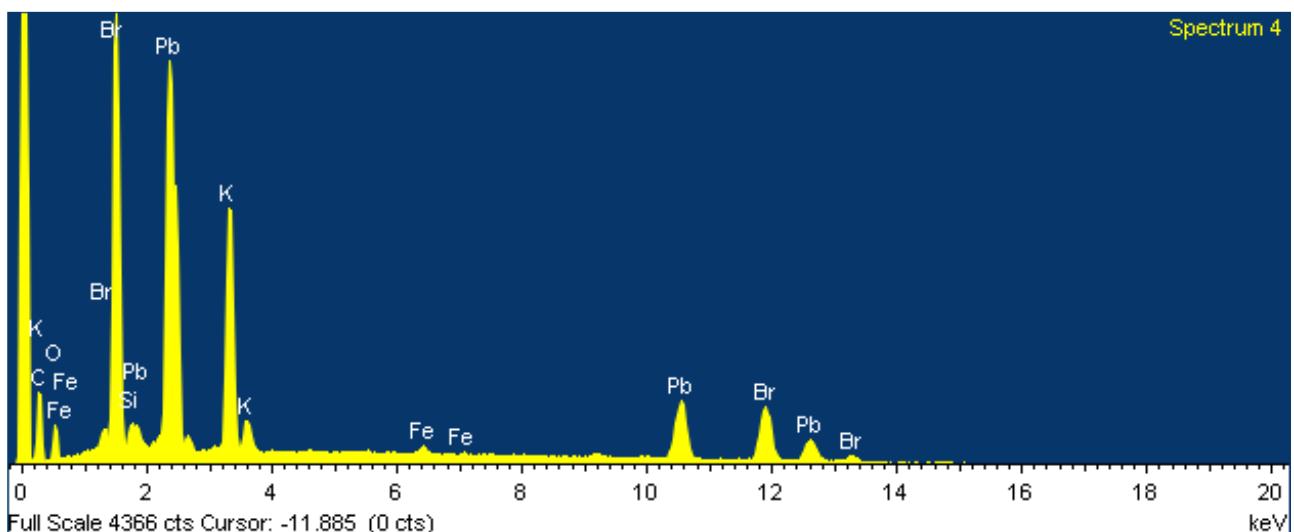
Fotografia della cross-section, microscopio ottico, 500x, luce UV

N.	Descrizione	Fluorescenza UV	Metodo	Dati ⁶	Composizione
5	Traslucido	Azzurra	-		Vernice sintetica?
4	Bianca-giallastra, inclusi fini traslucidi gialli e rossi	Gialla	SEM-EDS	C, O, Si, Pb, S, Fe	Giallo di piombo e stagno, biacca, rare ocre/terre gialle
3	Bruno, inclusi eterogenei neri, rossi ocra e aranciati	Non visibile	SEM-EDS	C, O, Ca, Si, Hg, S, Pb, Fe, Ti, Zn	Ocre rosse (ricche di impurezze di Zn e Ti), cinabro/vermiglione, rara biacca, probabile nero carbone
2	Bianco-rosato, inclusi fini bianchi, traslucidi, rossi e aranciati	Giallastra	SEM-EDS	C, O, Si, Hg, S, Pb, Fe	Biacca, ocre rosse, cinabro/vermiglione
1	Bruno traslucido	Blu-azzurra	-	-	Materiale organico
0	Traccia, traslucido	Debole azzurra	SEM-EDS	C, O, Si, S, Ca	Solfato di calcio biidrato (gesso), tracce di silicati

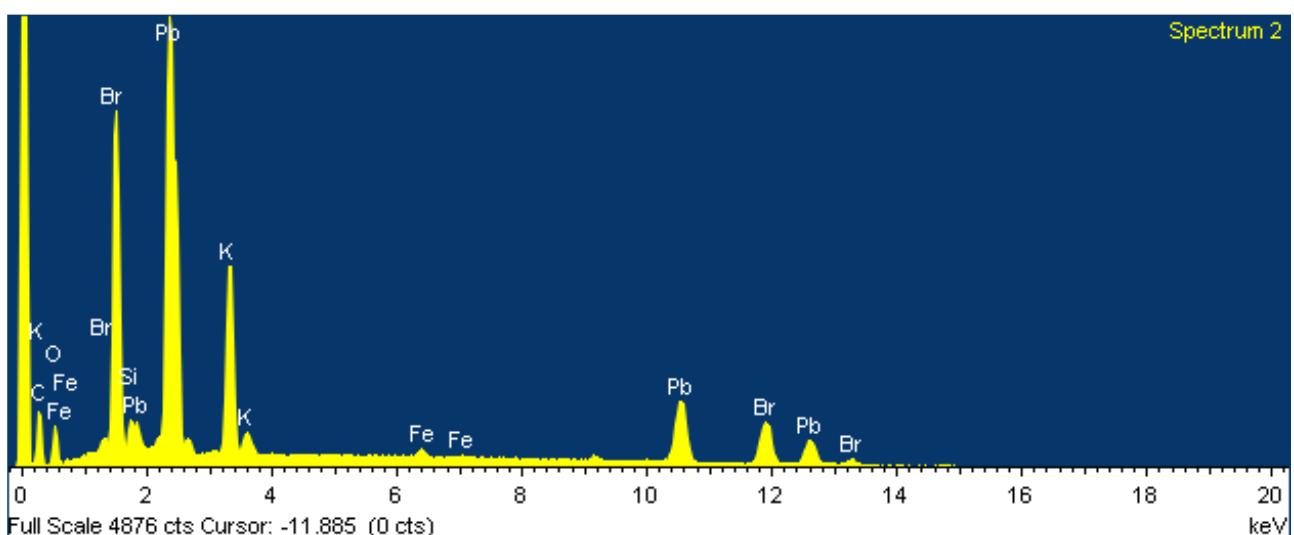
⁶ Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Gracia I., 2010, *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, Il Prato, Firenze. Seccaroni C., Moioli P., 2002, *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*, Firenze. Burgio L., Clark R. J. H., 2001, *Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation*, in «*Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*», LVII, 7, pp. 1491-1521. Caggiani M. C., Cosentino A., Mangone A., 2016, *Pigments Checker version 3.0, a handy set for conservation scientists: A free online Raman spectra database*, in «*Microchemical Journal*», CXXIX, pp. 123-132. Marucci G., Beeby A., Parker A. W., Nicholson C. E., 2018, *Raman spectroscopic library of medieval pigments collected with five different wavelengths for investigation of illuminated manuscripts*, in «*Analytical Methods*», X, pp. 1219-1236.



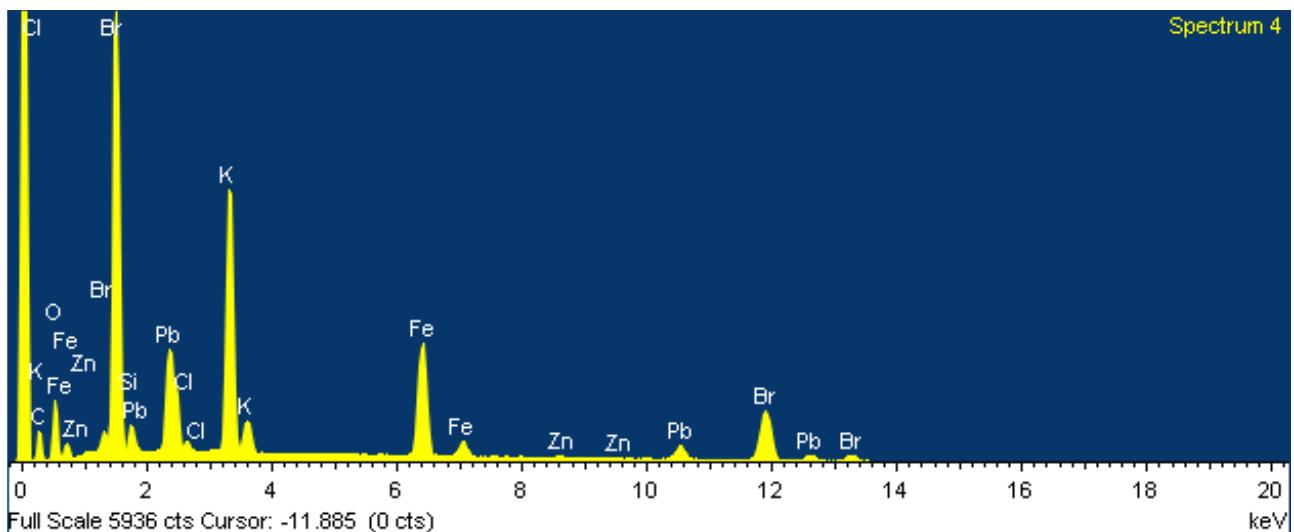
Spettro EDS su un'area dello strato 0 di preparazione



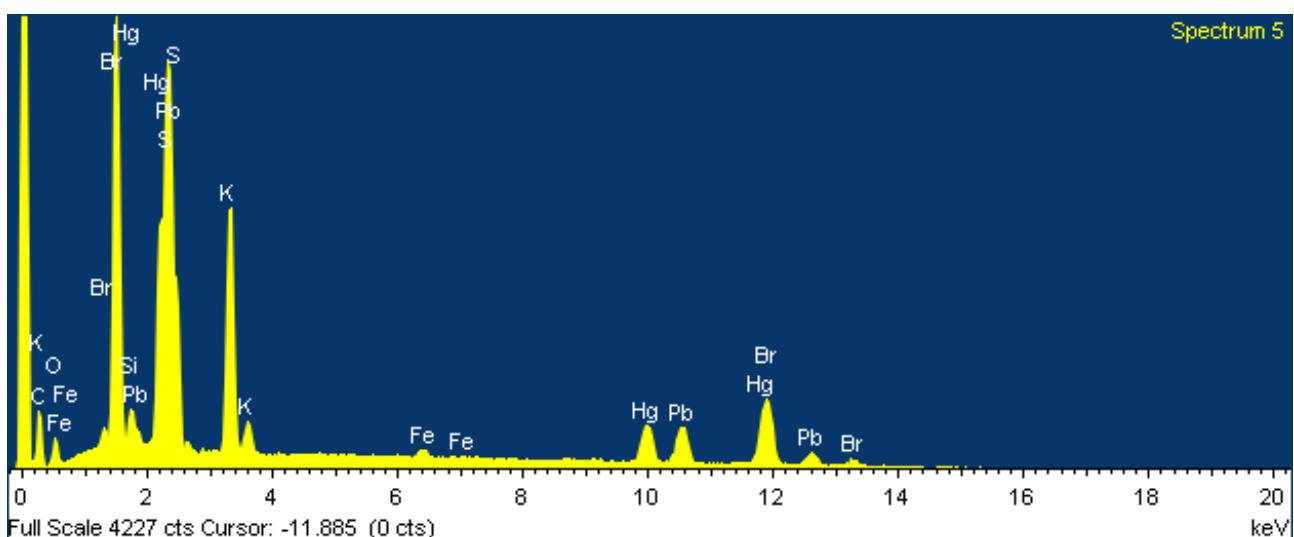
Spettro EDS su un'area dello strato pittorico 2 bianco



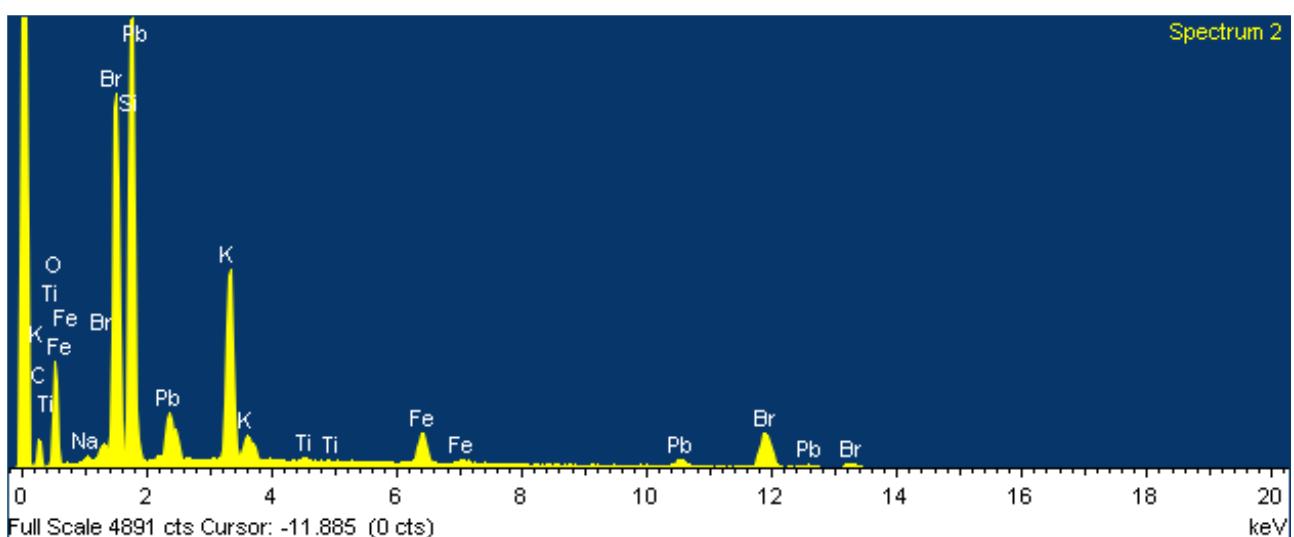
Spettro EDS su un incluso bianco di biacca dello strato pittorico 2 bianco



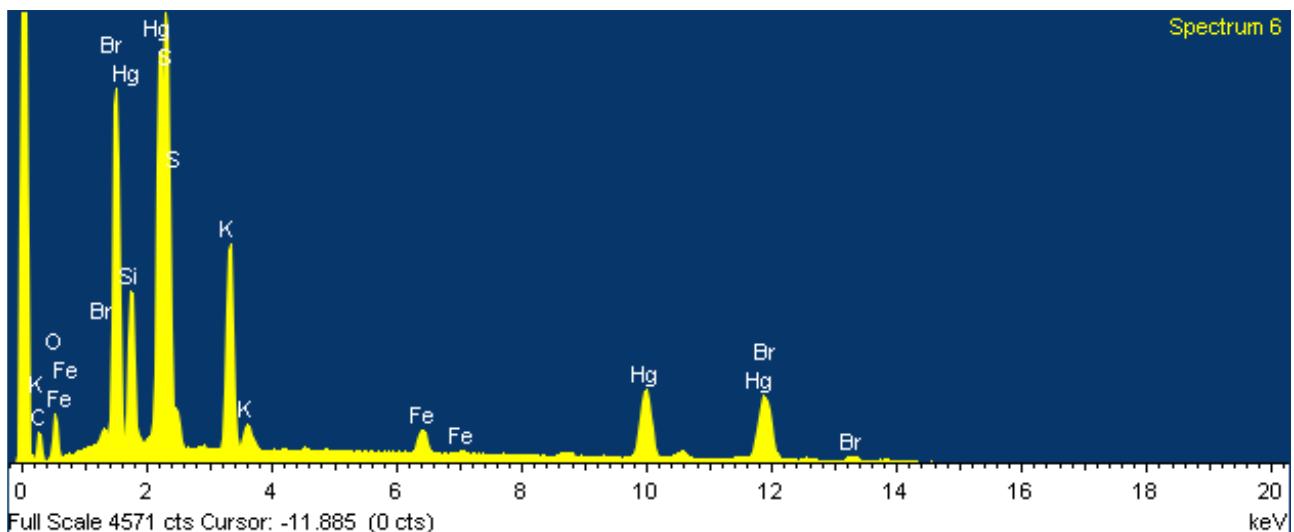
Spettro EDS su un incluso rosso di oca rossa dello strato pittorico 2 bianco



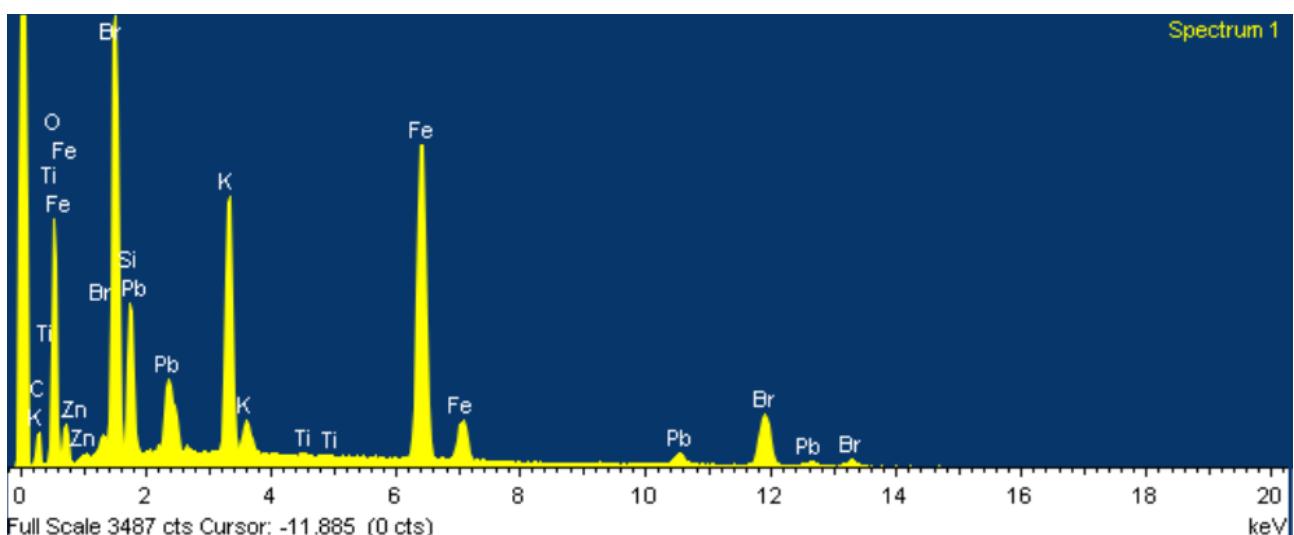
Spettro EDS su un incluso rosso di cinabro/vermiglione dello strato pittorico 2 bianco



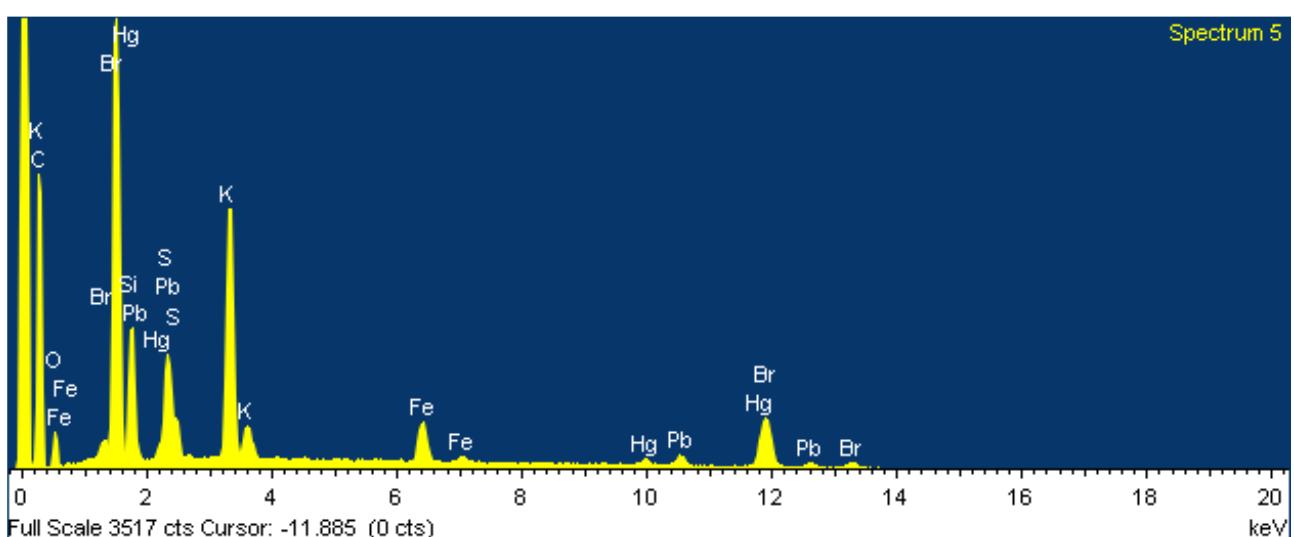
Spettro EDS su un'area dello strato pittorico 3 bruno-rosso



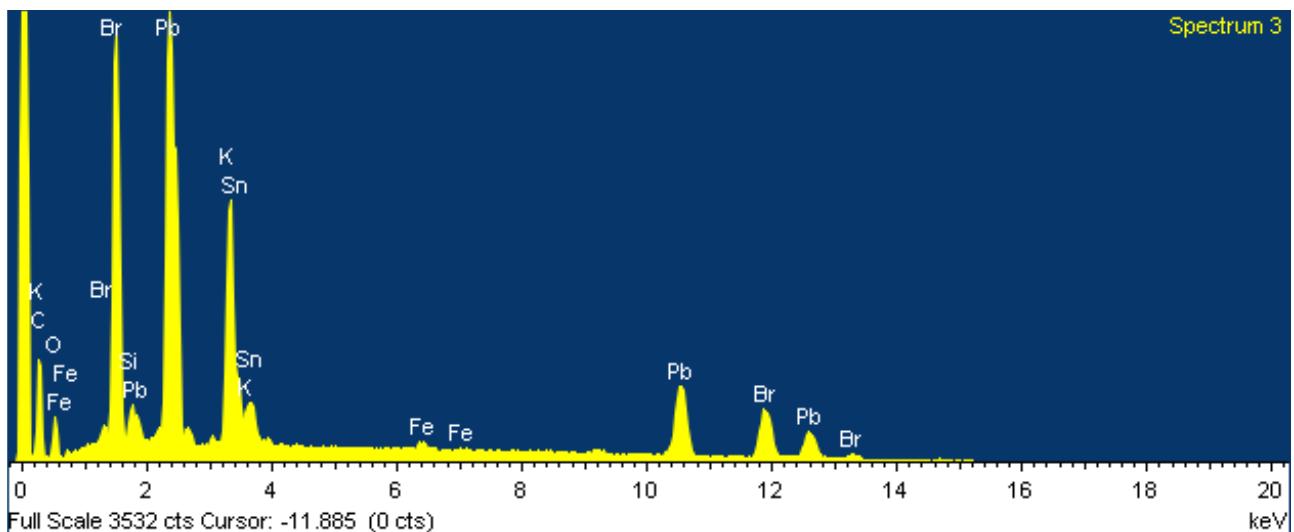
Spettro EDS su un incluso rosso di cinabro/vermiglione dello strato pittorico 3 bruno-rosso



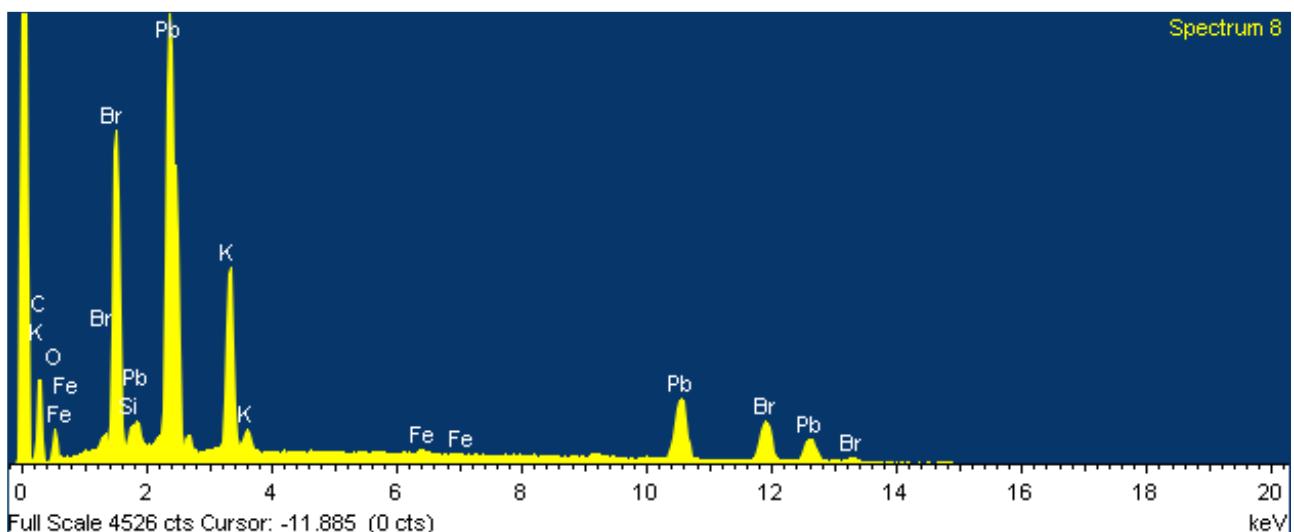
Spettro EDS su un incluso arancio di ocre rossa dello strato pittorico 3 bruno-rosso



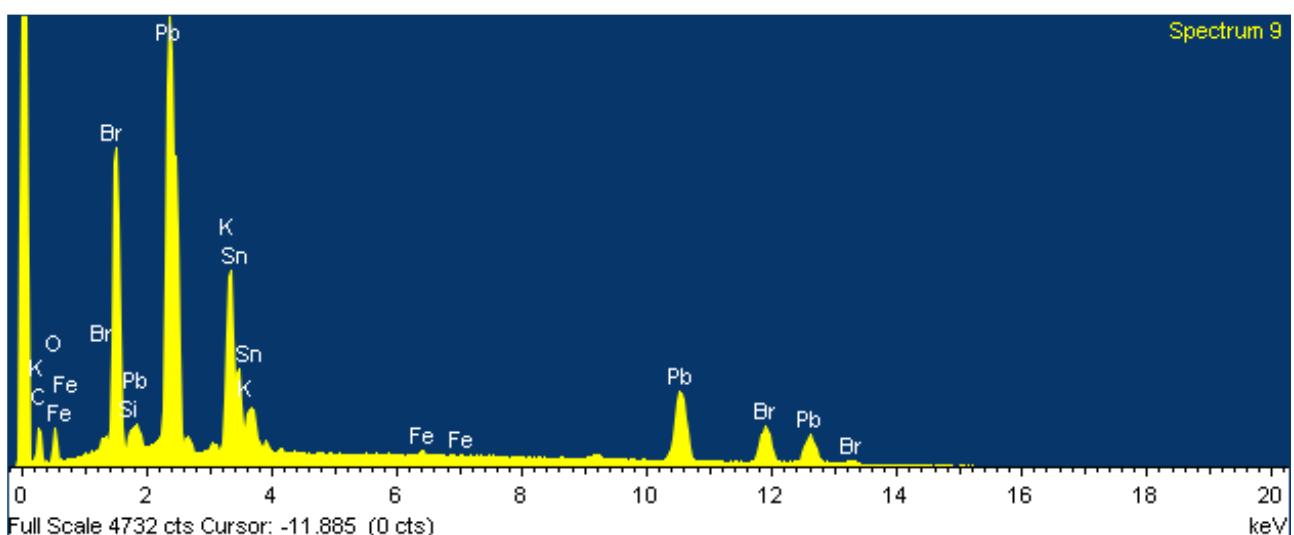
Spettro EDS su un incluso nero di probabile nero carbone dello strato pittorico 3 bruno-rosso



Spettro EDS su un'area dello strato pittorico 4 bianco giallastro



Spettro EDS su un incluso bianco di biacca dello strato pittorico 4 bianco giallastro



Spettro EDS su un incluso giallo paglierino di giallo di piombo e stagno dello strato pittorico 4 bianco giallastro

2. Campione Giallo-rosso bottone

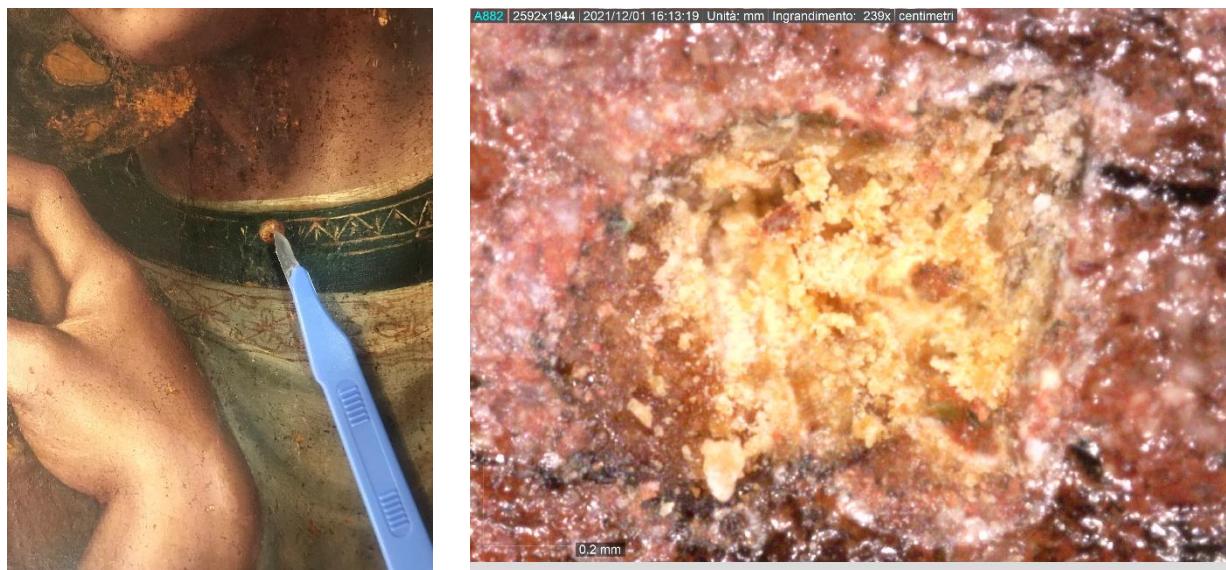
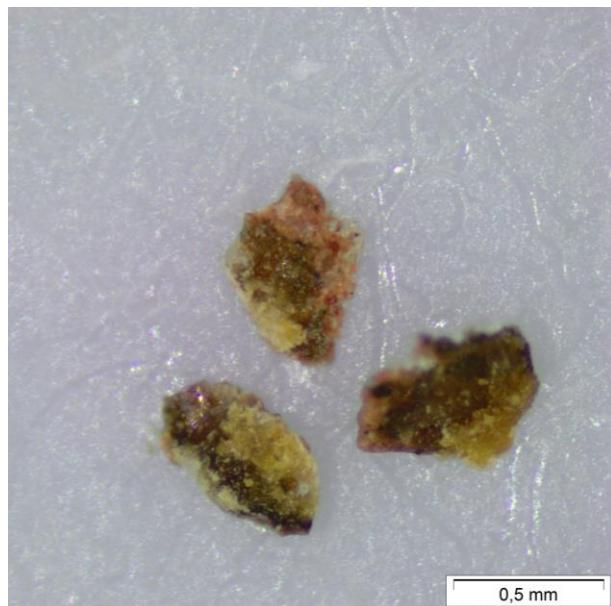


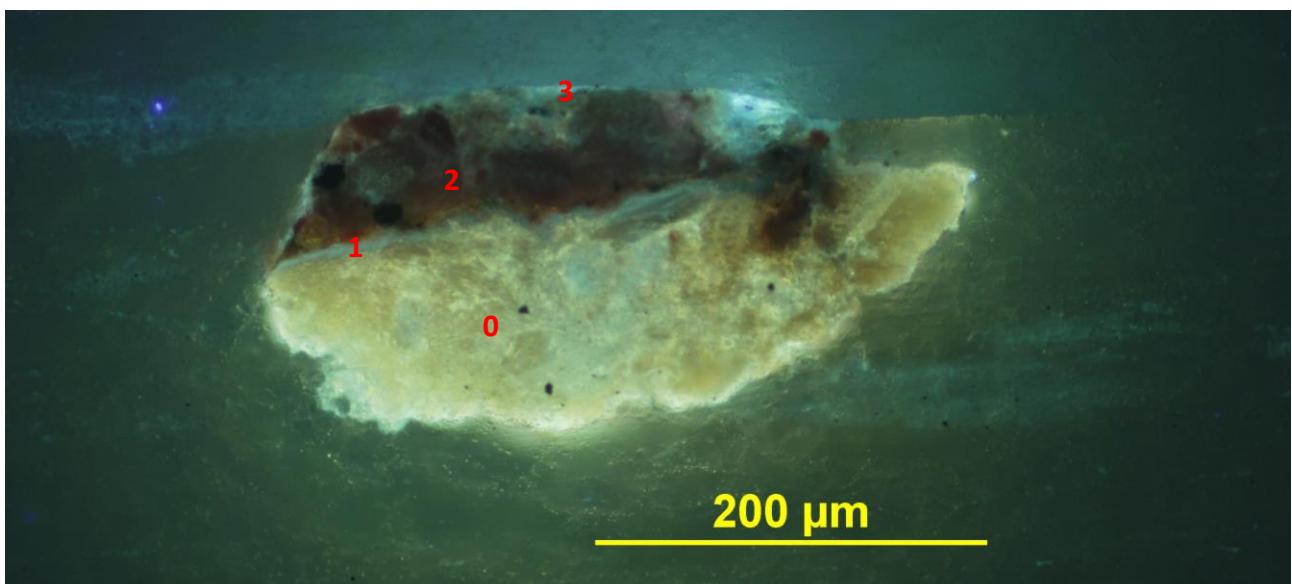
Figura 7. Punto di campionamento (*a sinistra*); videomicroscopia campionamento, 230x (*a destra*)



Fotografia del campione, stereomicroscopio 45x, luce visibile



Fotografia della cross-section, microscopio ottico, 200x, luce visibile

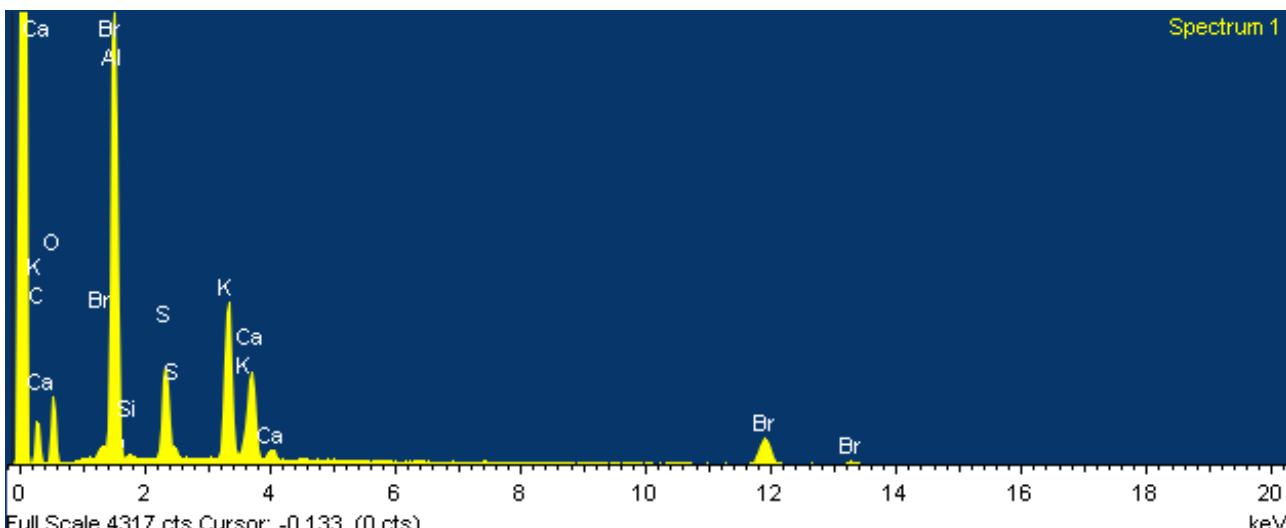


Fotografia della cross-section, microscopio ottico, 200x, luce UV

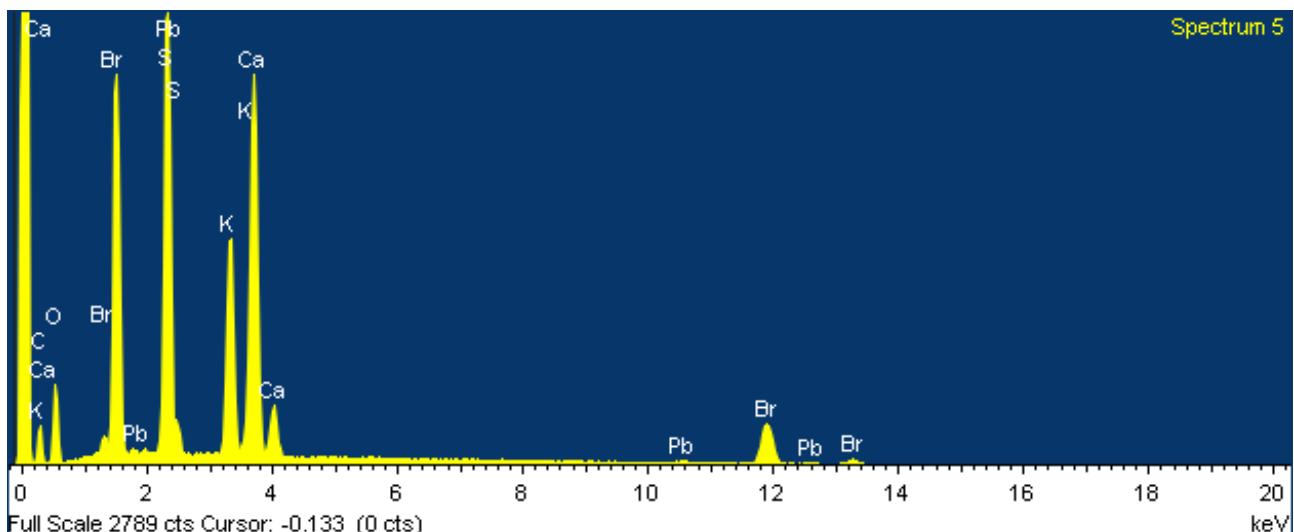
N.	Descrizione	Fluorescenza UV	Metodo	Dati ⁷	Composizione
3	Tracce, traslucido	Azzurra	-		Vernice sintetica?
2	Rossa- arancio, inclusi	Gialla-azzurra	SEM-EDS	C, O, Si, Pb, S, Sn, Ca, Ti, Fe, Cu	Giallo di piombo e stagno tipo I, nero carbone, ocre rosse (ricche di

⁷ Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Gracia I., 2010, *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, Il Prato, Firenze. Seccaroni C., Moioli P., 2002, *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*, Firenze. Burgio L., Clark R. J. H., 2001, *op.cit.*, in «Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy», LVII, 7, pp. 1491-1521. Caggiani M. C., Cosentino A., Mangone A., 2016, *op.cit.*, in «Microchemical Journal», CXXIX, pp. 123-132. Marucci G., Beeby A., Parker A. W., Nicholson C. E., 2018, *op.cit.*, in «Analytical Methods», X, pp. 1219-1236.

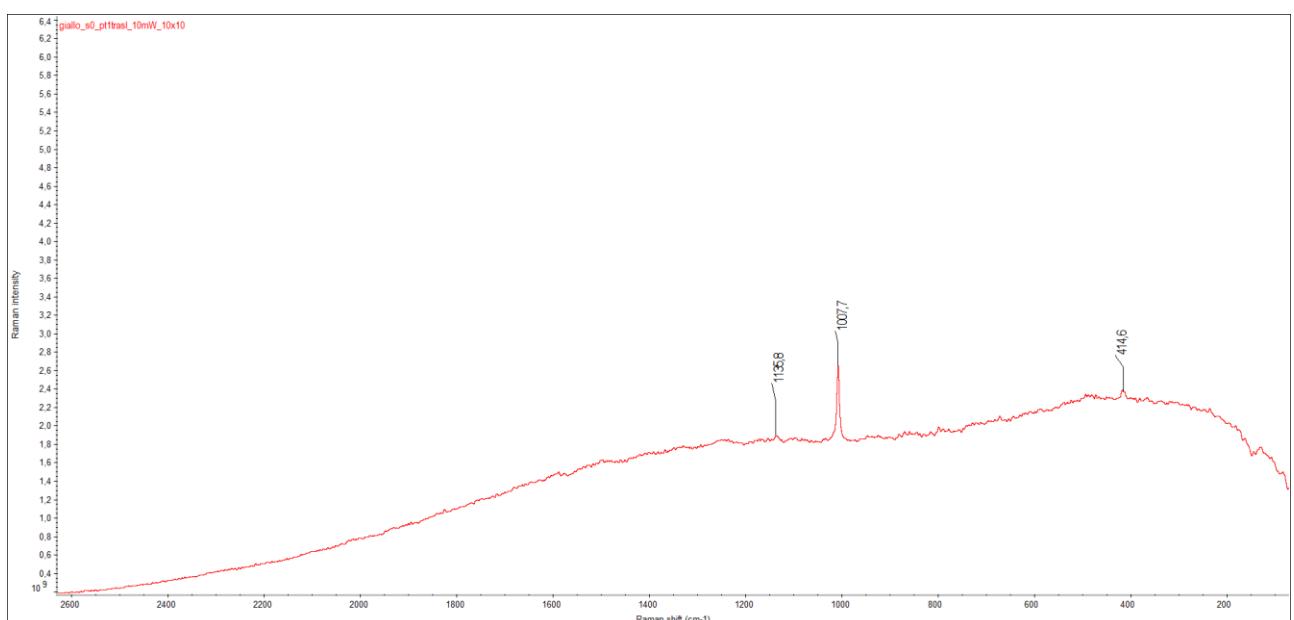
	grossolani bianchi, rossi, arancio, giallo paglierino e neri		Raman	$\sim 1590, \sim 1325, 456, 344, 293, 280, 275, 253, 198, 129, 111, 79 \text{ cm}^{-1}$	impurezze a base di titanio), cinabro/vermiglione
1	Giallo-bruno traslucido	Blu-azzurra	-	-	Materiale organico
0	Giallastra, inclusi grossolani traslucidi	Gialla-azzurra	SEM-EDS	C, O, Si, S, Ca	Solfato di calcio biidrato (gesso), tracce di silicati
			Raman	1035, 1007, 414 cm^{-1}	



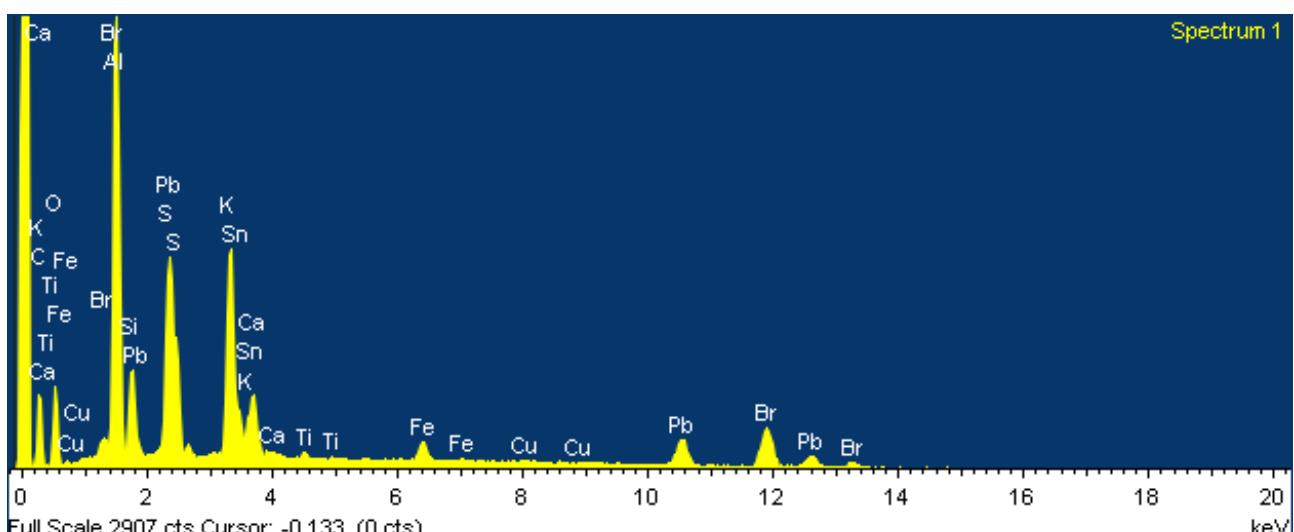
Spettro EDS su un'area dello strato 0 di preparazione



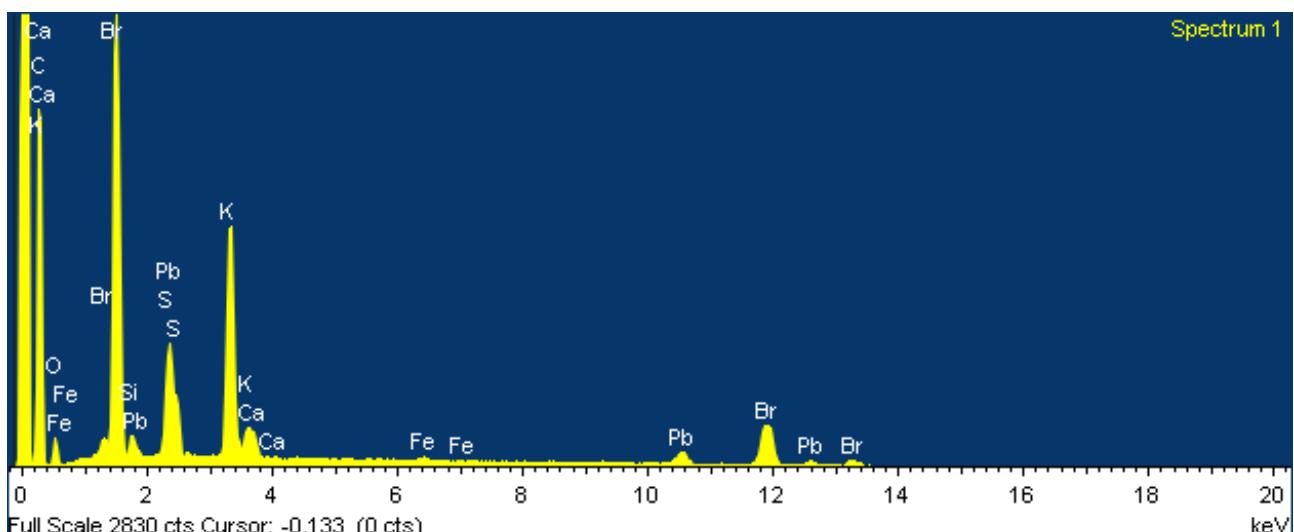
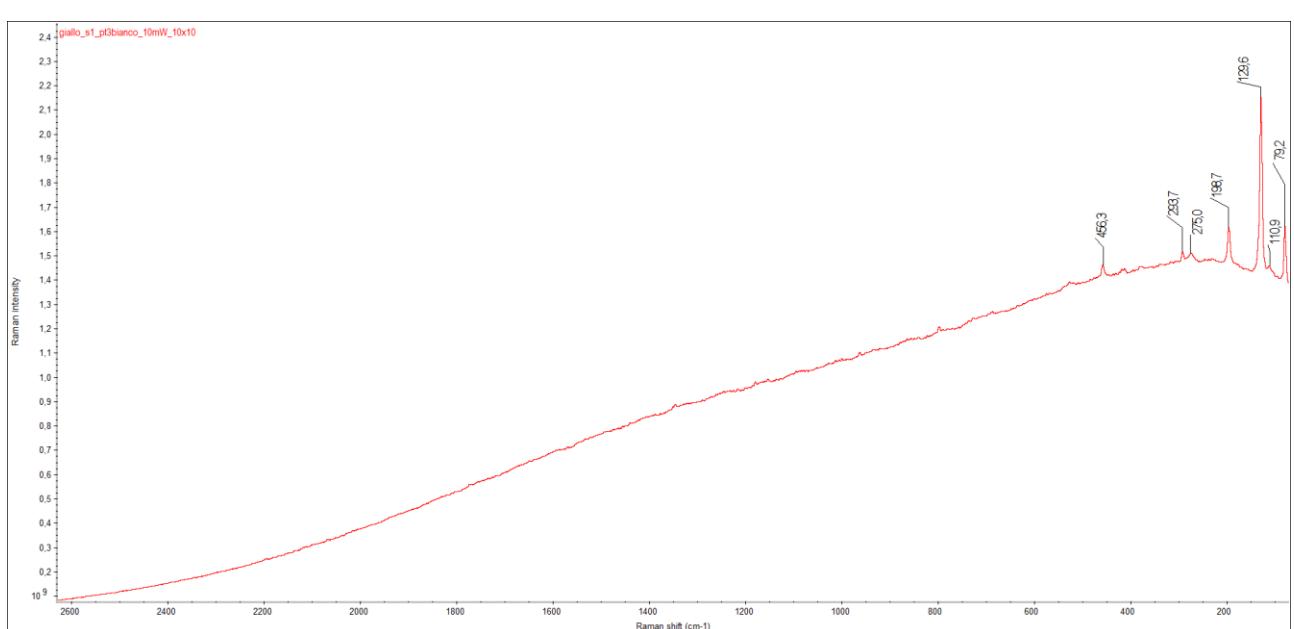
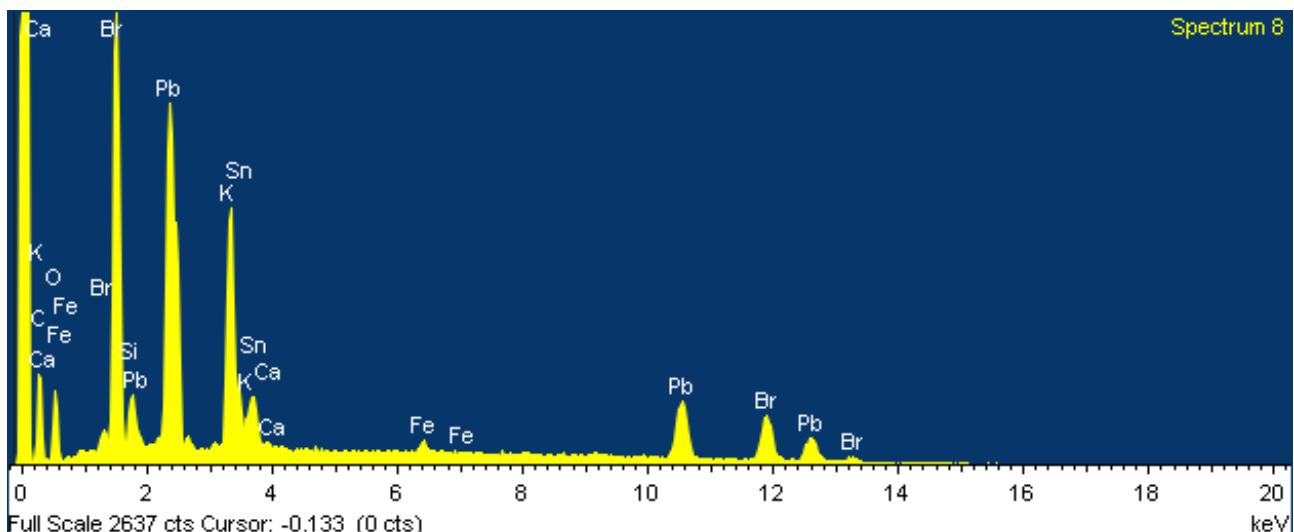
Spettro EDS su un incluso traslucido di gesso nello strato 0 di preparazione

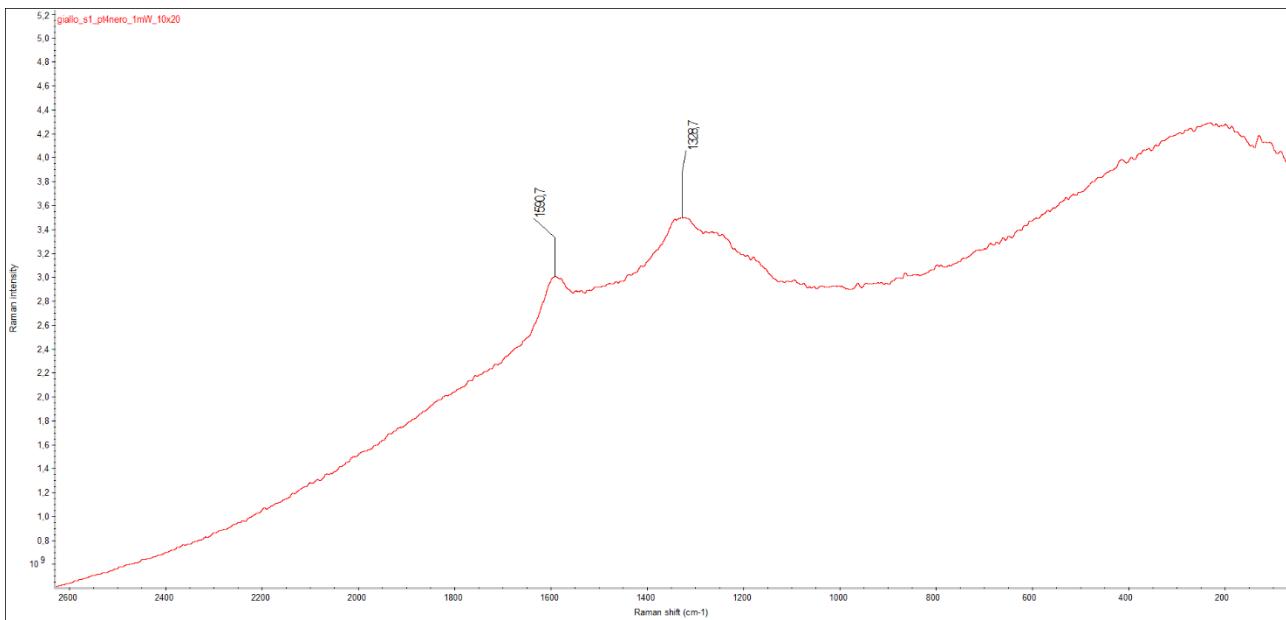


Spettro Raman su un incluso traslucido nello strato 0 di preparazione: solfato di calcio biidrato (1035, 1007, 414 cm⁻¹)

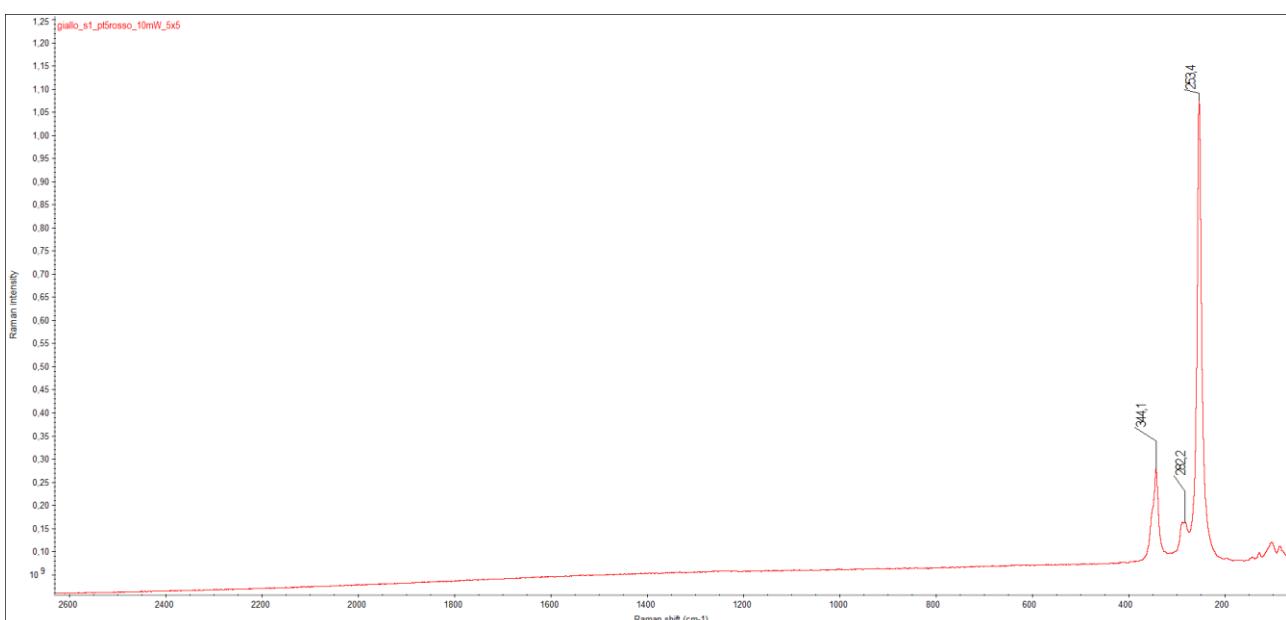


Spettro EDS su un'area dello strato pittorico 2 rosso





Spettro Raman su un incluso nero nello strato pittorico 2 rosso: nero a base di carbonio amorfico (~1590, ~1325 cm⁻¹)



Spettro Raman su un incluso rosso nello strato pittorico 2 rosso: cinabro/vermiglione (344, 280, 253 cm⁻¹)

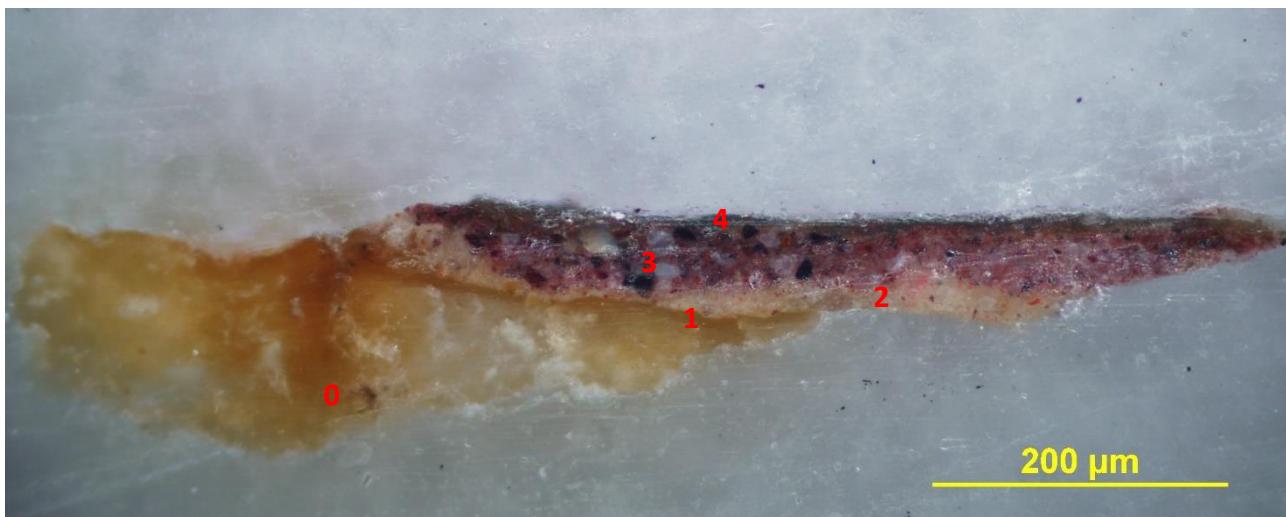
3. Campione Incarnato in ombra



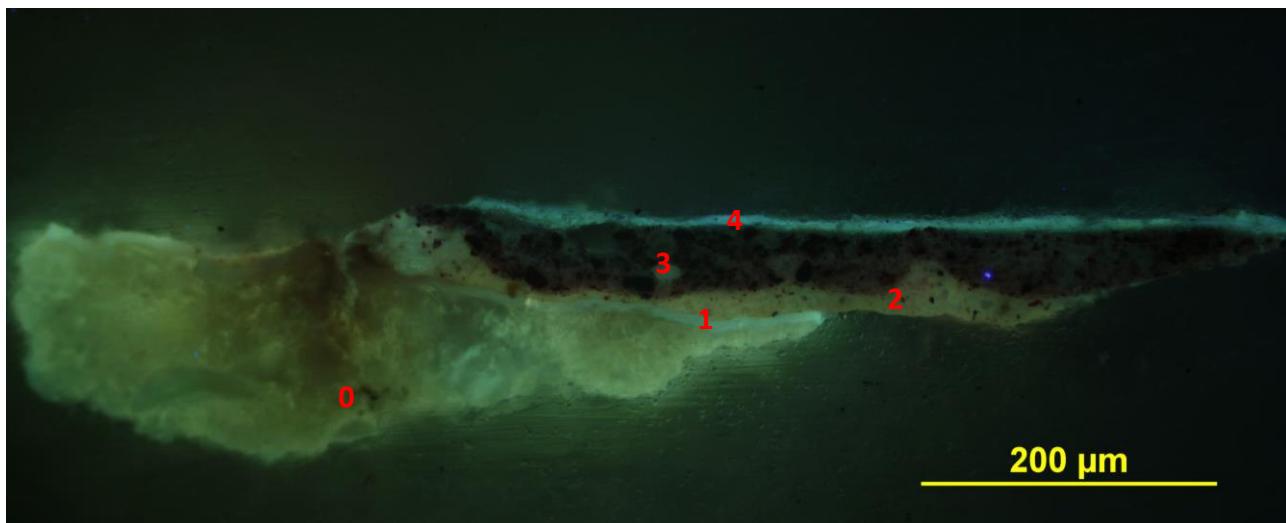
Figura 8. Punto di campionamento (*a sinistra*); videomicroscopia campionamento, 230x (*a destra*)



Fotografia del campione, stereomicroscopio 45x, luce visibile, fronte (*a sinistra*), retro (*a destra*)



Fotografia della cross-section, microscopio ottico, 200x, luce visibile



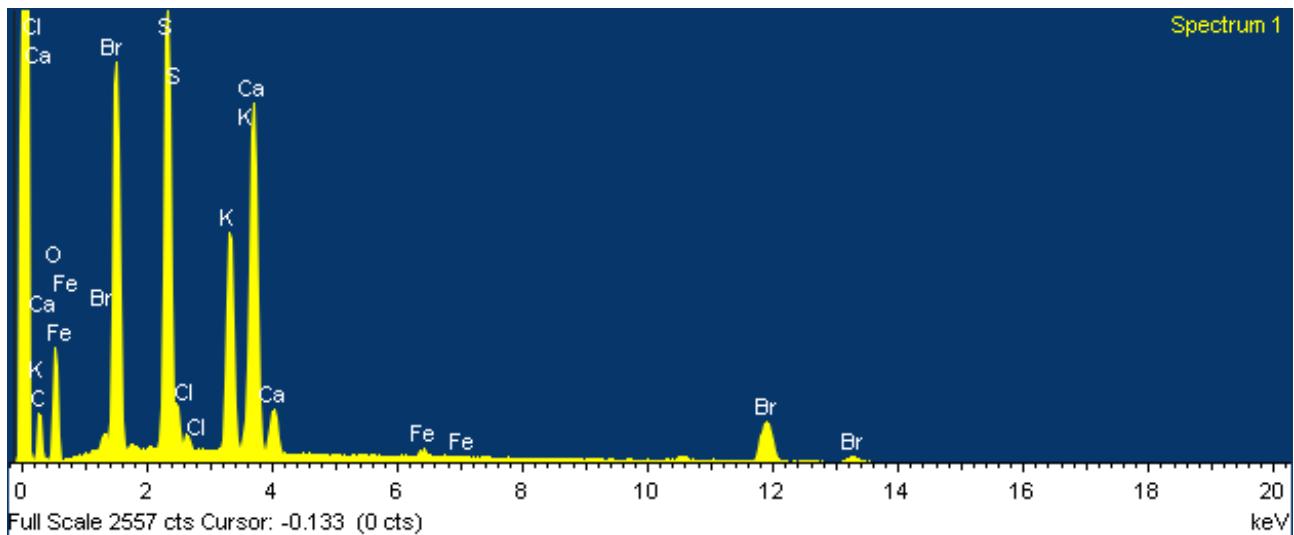
Fotografia della cross-section, microscopio ottico, 200x, luce UV

N.	Descrizione	Fluorescenza UV	Metodo	Dati ⁸	Composizione
4	Bruno-traslucido	Azzurra	-	-	Vernice sintetica?
3	Violaceo, inclusi eterogenei e	Rosata	SEM-EDS	C, O, Pb, Ca, Fe, Si	Ocre rosse, biacca, nero carbone, probabile lacca violacea ⁹

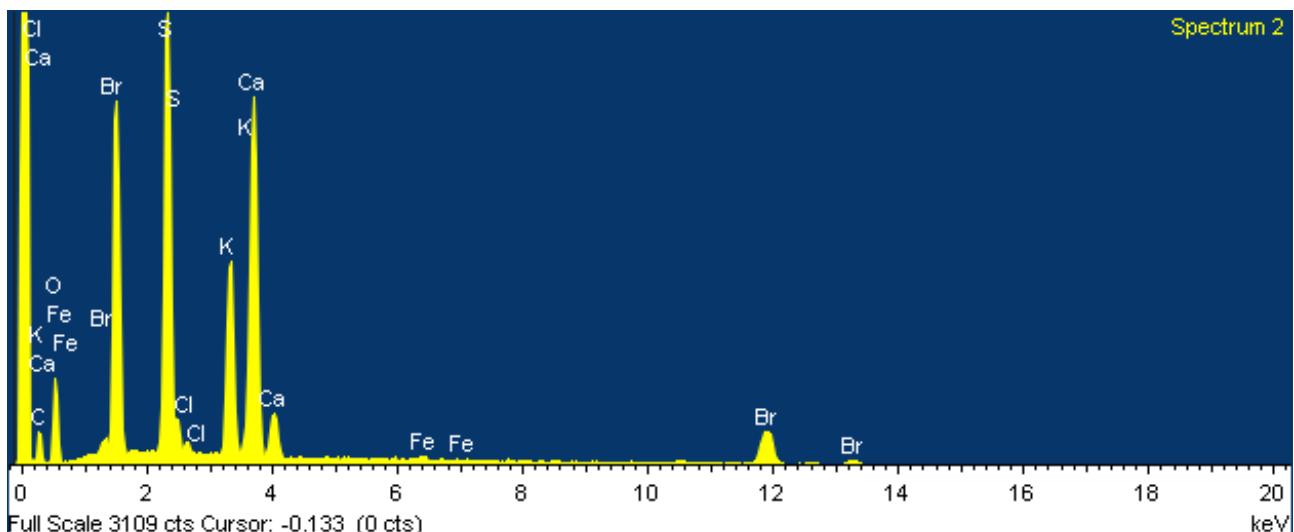
⁸ Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Gracia I., 2010, *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, Il Prato, Firenze. Seccaroni C., Moioli P., 2002, *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*, Firenze. Burgio L., Clark R. J. H., 2001, *op.cit.*, in «Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy», LVII, 7, pp. 1491-1521. Caggiani M. C., Cosentino A., Mangone A., 2016, *op.cit.*, in «Microchemical Journal», CXXIX, pp. 123-132. Marucci G., Beeby A., Parker A. W., Nicholson C. E., 2018, *op.cit.*, in «Analytical Methods», X, pp. 1219-1236.

⁹ Con le tecniche impiegate non è stato possibile caratterizzare il composto. Tuttavia, l'elevato quantitativo di carbonio presente nello strato, associato a una fluorescenza rosata, sono caratteristiche tipiche dei composti organici quali le lacche di colore rosso.

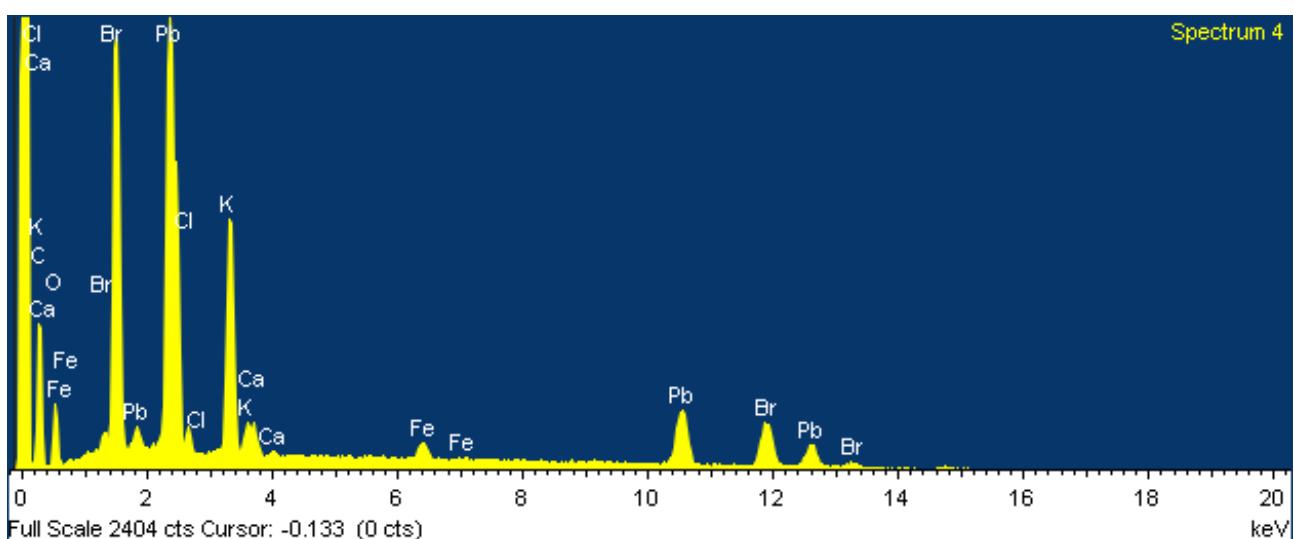
	grossolani neri, bianchi, traslucidi, viola e fini rossi				
2	Rosa, inclusi fini arancioni, bruni, traslucidi, bianchi	Gialla	SEM-EDS	C, O, Pb, S, Ca, Hg, Fe	Biacca, ocre, cinabro/vermiglione
1	Giallo- bruno traslucido	Blu-azzurra	-	-	Materiale organico
0	Giallastra, inclusi grossolani traslucidi	Gialla-azzurra	SEM-EDS	C, O, S, Ca	Solfato di calcio biidrato (gesso)



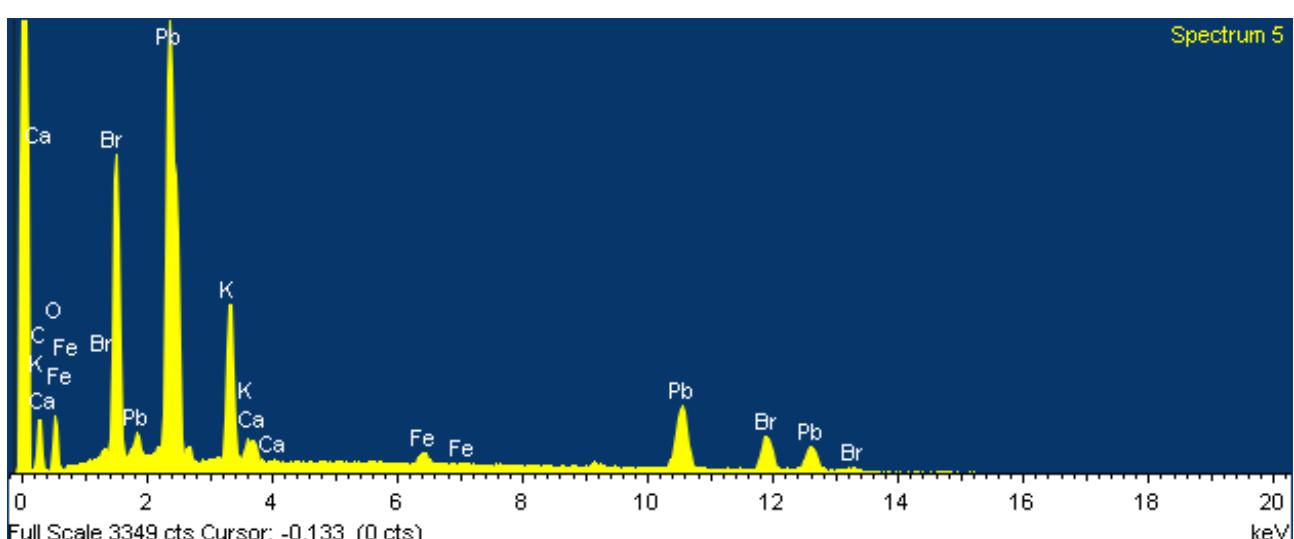
Spettro EDS su un'area dello strato 0 di preparazione



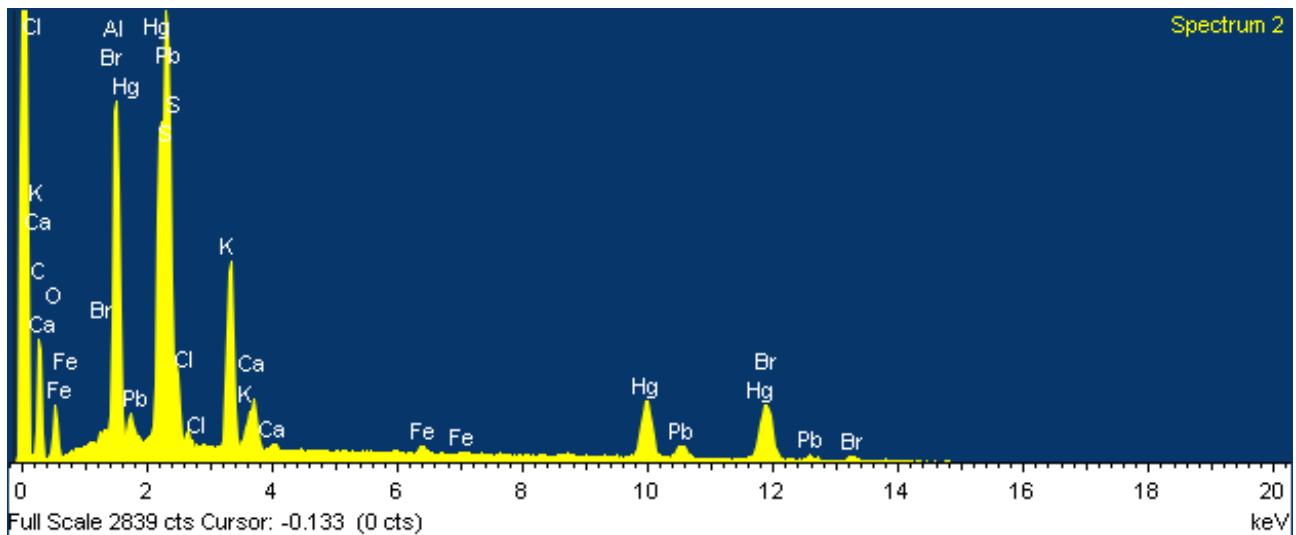
Spettro EDS su un incluso traslucido di gesso nello strato 0 di preparazione



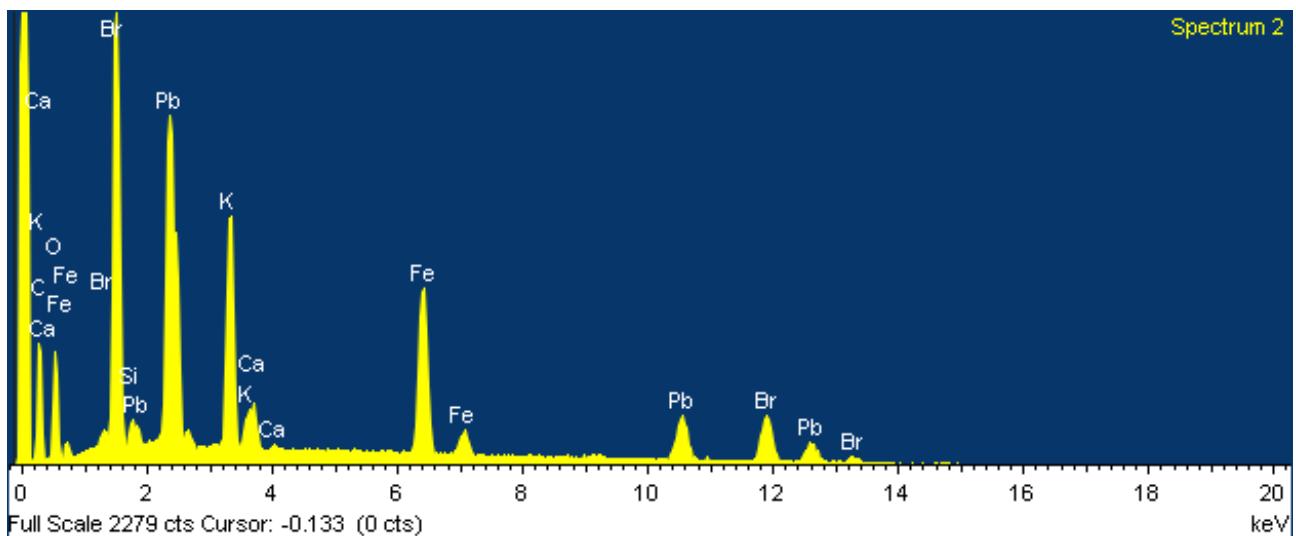
Spettro EDS su un'area dello strato pittorico 2 rosa



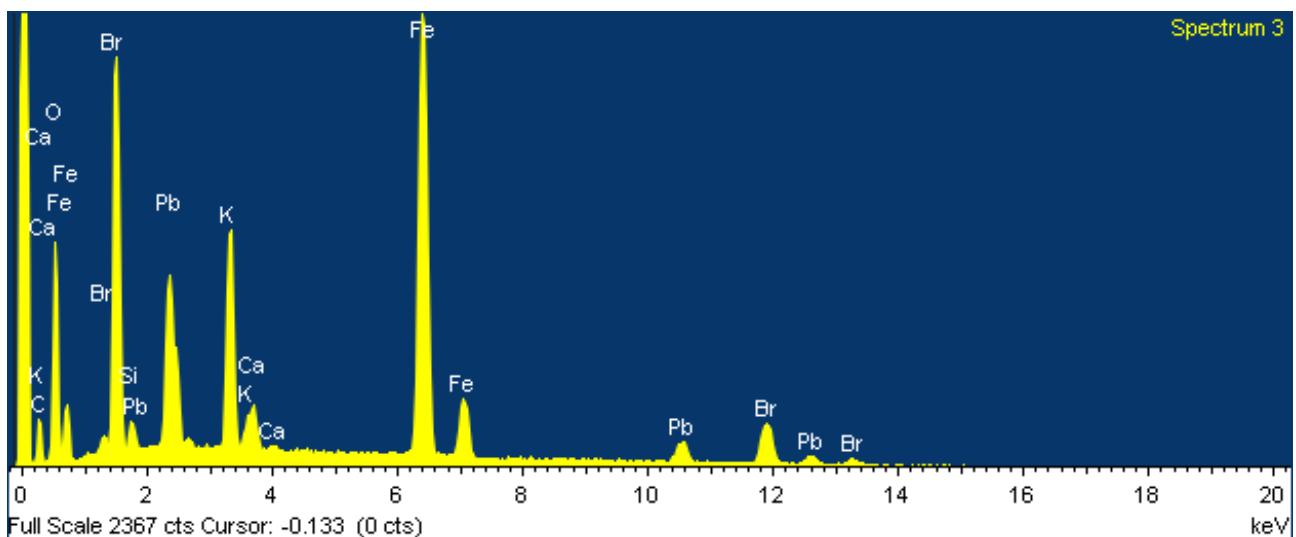
Spettro EDS su un incluso bianco di biacca nello strato pittorico 2 rosa



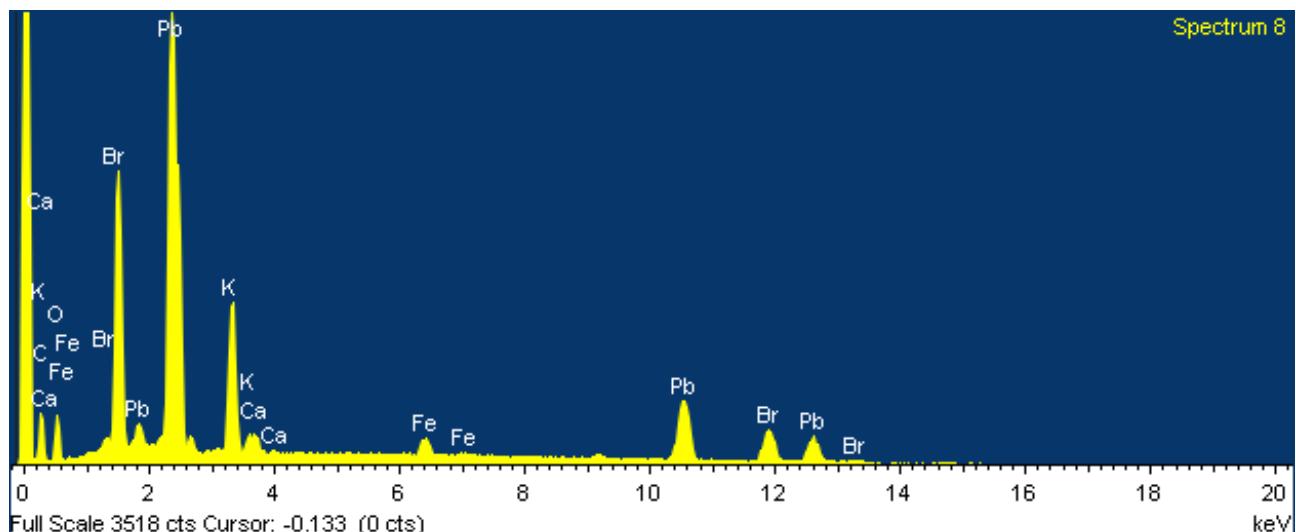
Spettro EDS su un incluso rosso di cinabro/vermiglione nello strato pittorico 2 rosa



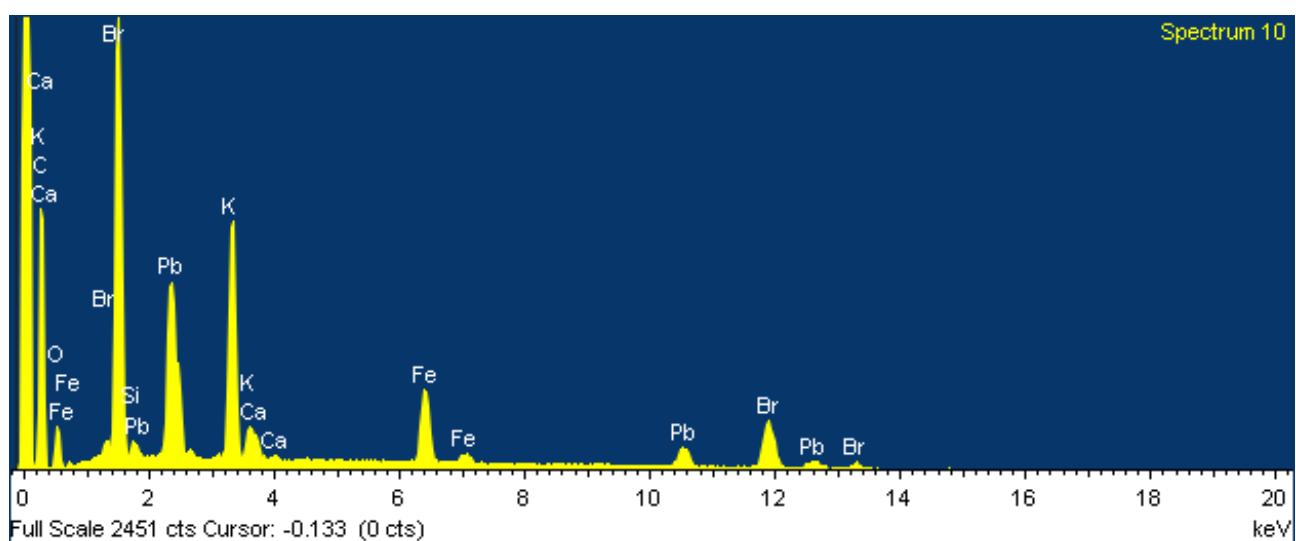
Spettro EDS su un'area dello strato pittorico 3 bruno-rosa



Spettro EDS su un incluso rosso di ossido di ferro (ocre) nello strato pittorico 3 bruno-rosa



Spettro EDS su un incluso bianco di biacca nello strato pittorico 3 bruno-rosa



Spettro EDS su un incluso nero di nero carbone nello strato pittorico 3 bruno-rosa

4. Campione della scritta sul retro

Sul retro del dipinto sono presenti due scritte in carattere stampato tracciate a mezzo fluido: la prima, riportante la dicitura “Leonardo”, è posizionata in basso al centro; la seconda, “Salajno”, è collocata in alto al centro. Al di sotto di quest’ultima, si osservano dei caratteri incisi la cui immagine viene riportata di seguito¹⁰.

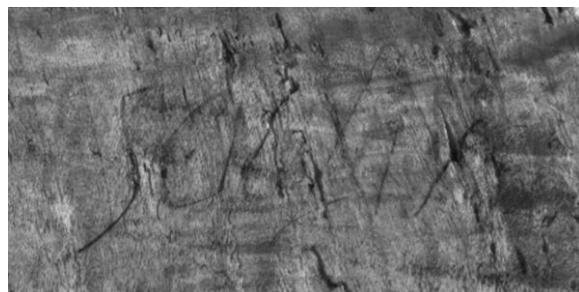


Immagine in infrarosso (900 nm), retro, dettaglio dell'incisione [fonte: Lumière Technology]

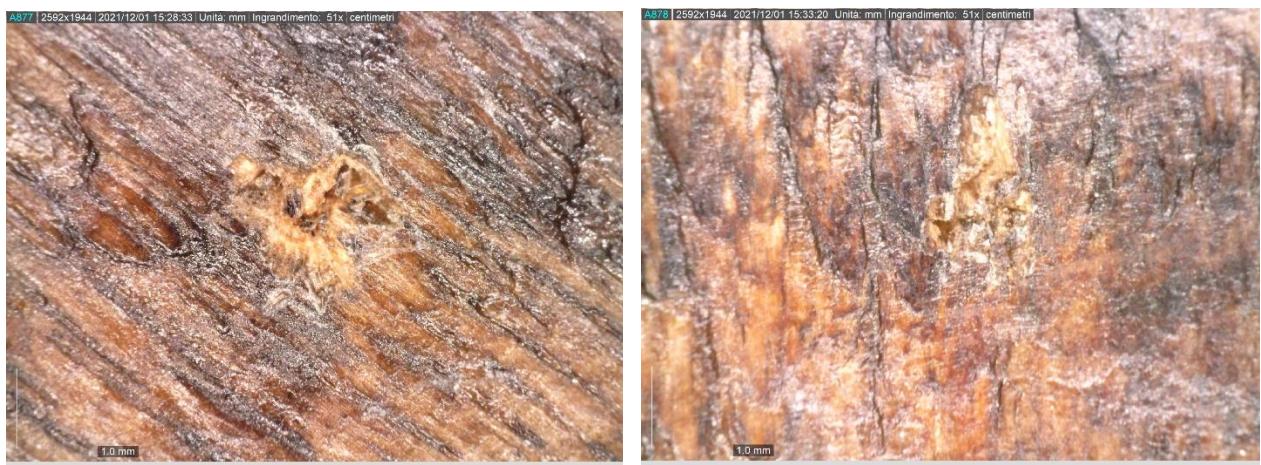


Punti di prelievo su scritte poste sul retro

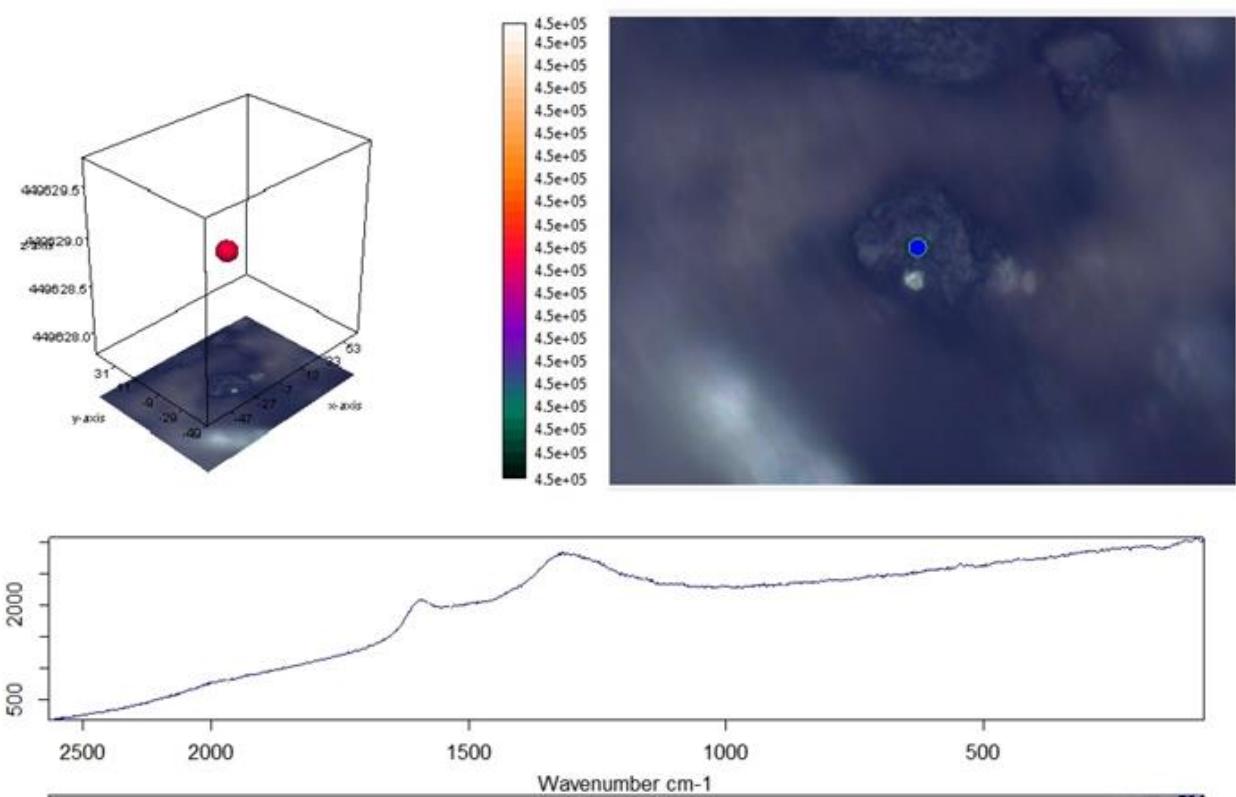
Due micro-campioni sono stati prelevati e i campioni tal quali sono stati analizzati in spettroscopia micro-Raman per caratterizzare i materiali che costituiscono la scritta.

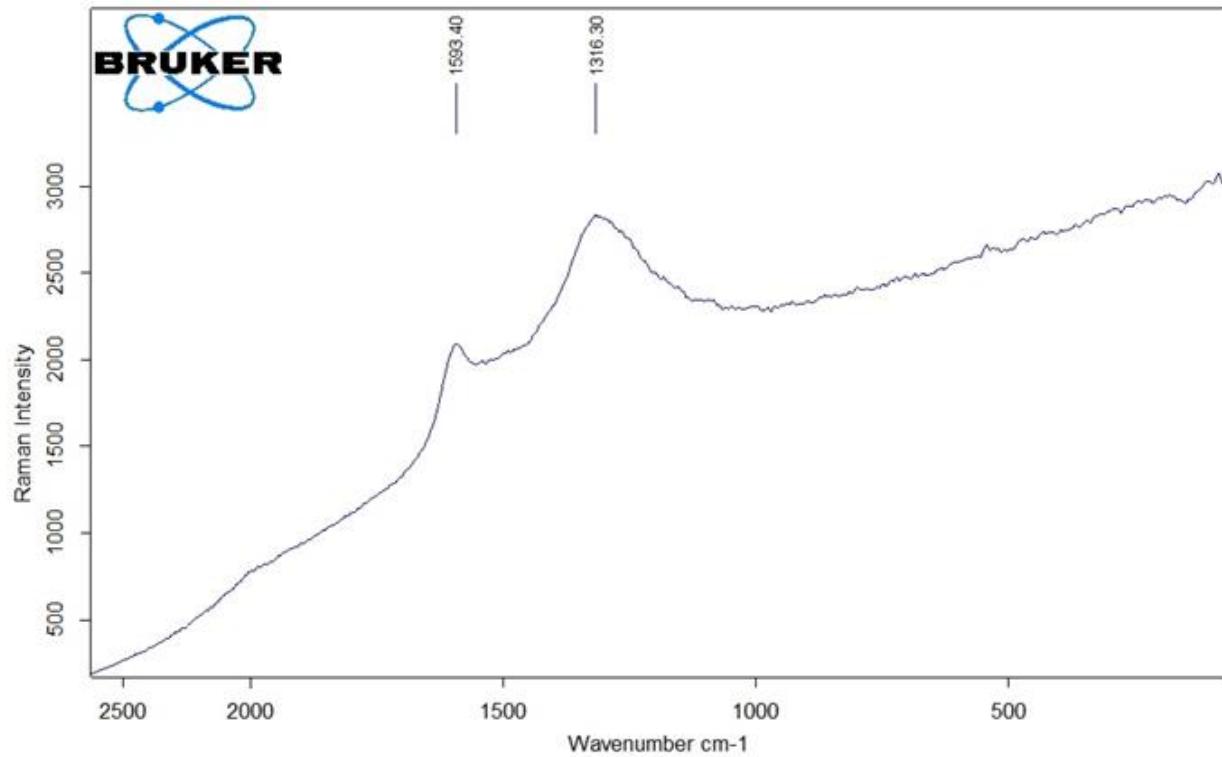
¹⁰ In merito alle scritte e all'incisione sul retro si vedano, tra i documenti forniti dal consulente del committente, Serge Kourtchevsky, le *Scientific Investigations* effettuate da Editech S.r.l. (Luglio 2011; ppt 01-08) e le LAM della Lumière Technology effettuate sul verso del dipinto (28 giugno 2020). Per una approfondita descrizione delle scritte e dell'incisione sul retro si veda, inoltre, il testo di Serge Kourtchevsky dal titolo *Christ carrying the cross of the Italian Renaissance, documented study and comparison with Giampietrino* (giugno 2022).

Le indagini spettroscopiche hanno permesso di caratterizzare la campitura nera che è realizzata con nero a base di carbonio per i picchi caratteristici a ~ 1595 e $\sim 1315 \text{ cm}^{-1}$.



Punti di campionamento, videomicroscopia, 50x





Spettro Raman sul pigmento nero: nero a base di carbonio (~ 1595 , ~ 1315 cm⁻¹)

In conclusione, le scritte risultano realizzate con nero carbone in mezzo fluido.

Tabella riassuntiva dei pigmenti individuati¹¹

Pigmento	Composizione	Note
Biacca	Carbonato basico di piombo $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$	Bianco; usato dall'antichità alla metà del XX secolo
Ocre/terre	Ossidi di ferro e silicati	Bruno, rosso o giallo; usato fin dall'antichità
Cinabro/vermiglione	Solfuro di mercurio	Rosso; usato fin dall'antichità
Giallo di piombo e stagno I	Stannato di piombo Pb_2SnO_4	Giallo; usato dal XV fino al XVII secolo
Gesso	Solfato di calcio biidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Bianco; usato fin dall'antichità
Nero carbone	Carbonio quasi puro	Nero; usato fin dall'antichità
Lacche rosse	Composto organico di origine vegetale o animale	Rosse; usato fin dall'antichità

¹¹ Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Gracia I., *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, Il Prato, Firenze, 2010; Seccaroni C., Moioli P., *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*, Firenze, 2002; Eastaugh, N., *Pigment compendium: a dictionary and optical microscopy of historical pigments*, Amsterdam, Butterworth-Heinemann, 2008, *La fabbrica dei colori. Pigmenti e coloranti nella pittura e nella tintoria*, Bagatto Libri, Roma, 1995.

3. Considerazioni conclusive e approfondimenti storico-tecnici sui materiali e la tecnica esecutiva

Sulla base dei campioni analizzati, la preparazione del dipinto oggetto di studio è costruita su un unico strato, a base di solfato di calcio biidrato e colla, a matrice traslucida con rare tracce di silicati. Al di sopra del ground a base di gesso, giace uno strato ricco in legante con funzione isolante.

Il contesto storico-tecnico in cui si sviluppa da parte degli artisti l'impiego della preparazione a gesso e colla, accompagnata da una imprimitura con funzione isolante, viene di seguito approfondito. Si fa presente che le modalità di interpretazione di un percorso evolutivo – e come tale può intendersi l'evoluzione nella realizzazione delle preparazioni – vengono in genere effettuate mediante il ricorso a modelli interpretativi che, sulla base di una casistica più o meno ampia, rappresentano inevitabilmente una semplificazione della situazione reale.

La preparazione di un supporto è generalmente costituita da più strati. Il primo, isolante e a base di colla, è applicato direttamente sul supporto e prende il nome di *size layer*¹². Seguono uno o più strati di materiale inerte mescolato ad un mezzo conveniente al tipo di tecnica pittorica impiegata. Infine, in certi casi, è presente un ulteriore strato isolante, detto imprimitura, costituito da *medium* diluito, con o senza pigmento.

L'uso di una corretta preparazione, che sia elastica e impermeabile¹³, è essenziale ai fini della conservazione dell'opera. Il *ground*, infatti, costituisce quella parte del dipinto che risulta maggiormente sollecitata da stress meccanici, in quanto interposta tra due strati con caratteristiche fisiche totalmente diverse: il supporto e la pellicola pittorica. Inoltre, essenziale risulta la sua durabilità in termini cromatici in quanto qualsiasi alterazione del

¹² Nel caso di opere su tavola, il *size layer* ha il compito di sigillare il legno e creare un primo legame tra esso e il *ground*. Per quanto riguarda le tele, esso svolge anche la funzione di stendere le fibre, riempire gli interstizi e proteggere il tessile dall'azione corrosiva degli oli siccativi. Si vedano Hendy P., Lucas A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, p. 270 ; Stols-Witlox M., 2008, *Sizing layers for oil painting in western European sources (1500-1900): historical recipes and reconstructions*, in *Art Technology: Sources and Methods*, a cura di Kroustallis S., Townsend J.H., Cenalmor Bruquetas E. et al., pp. 147-165; Stols-Witlox M., 2012, *Grounds 1400-1900*, in *The Conservation of Easel Paintings*, edited by Stoner J. H., Rushfield R., Routledge, London-New York, pp. 163-164.

¹³ *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, p. 11.

colore della preparazione influisce sulla resa cromatica degli strati pittorici soprastanti. Il *ground*, dunque, ha una funzione che va al di là della semplice preparazione del supporto e influisce sia sulla *texture*, sia sul colore del dipinto finito. Lo stesso vale per l'imprimitura che, specialmente quando pigmentata, non solo perfeziona la superficie del *ground* ma funge da base cromatica dell'intera composizione¹⁴.

Nel caso delle preparazioni italiane tra XIV e XV secolo¹⁵, il *ground* a gesso e colla animale, come nel dipinto in studio, risulta essere il più usato almeno fino alla fine del XV secolo, periodo durante il quale la tipica preparazione composta da diversi strati di gesso grosso (granulometria grossolana) seguiti da altri in gesso sottile (granulometria fine), lascia progressivamente il posto all'applicazione di un 'unico strato' realizzato in gesso grosso, principalmente a nord degli Appennini, o in gesso sottile, nelle aree meridionali. In Toscana la successione di gesso grosso e gesso sottile, a differenza di altre aree, risulta mantenuta. La cosiddetta imprimitura, incolore o pigmentata, è quindi occasionalmente applicata al *ground* con la funzione non solo di base cromatica ma anche di isolante, atta cioè a prevenire l'assorbimento del legante oleoso degli strati pittorici da parte del gesso del *ground*¹⁶. Essa, di spessore medio dai 10 ai 30 µm, risulta costituita o esclusivamente da *medium* – nella fattispecie olio, resina, colla, etc. – o da biacca, ossia bianco di piombo, legato a tempera grassa o ad olio¹⁷.

¹⁴ HENDY P., LUCAS A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, pp. 245 e 266-267.

¹⁵ Interessante notare come l'impiego di preparazioni diverse sia strettamente collegato alle aree geografiche: il gesso è più impiegato nelle aree mediterranee (Italia, Spagna, Provenza) mentre il carbonato di calcio in quelle dell'Europa centrale e settentrionale. L'uso di materiali diversi in differenti periodi e regioni era influenzato, oltre che dalla tradizione, dalle fonti di approvvigionamento, dalla loro disponibilità e, in relazione alle conoscenze tecnologiche, dal loro trattamento. In particolare, per i materiali impiegati nelle preparazioni, il cui consumo doveva essere relativamente più abbondante e il cui prezzo, pertanto, diveniva un fattore fondamentale, è logico ipotizzare che i consumatori attingessero a depositi di importanza regionale che fornivano materiale di sufficiente qualità. Si veda a tal proposito, *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, p. 14 e HENDY P., LUCAS A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, p. 269.

¹⁶ STOLS-WITLOX M., 2012, *Grounds 1400-1900*, in *The Conservation of Easel Paintings*, edited by Stoner J. H., Rushfield R., Routledge, London-New York, pp. 163-164. *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, pp. 11-12.

¹⁷ LALLI C., 2010, *Tecniche e Metodi di Indagine per la Caratterizzazione dei Materiali e della Tecnica di Esecuzione delle Pitture su Tavola e su Tela dal XV al XVII Secolo*, in *La pintura europea sobre tabla. Siglos XV, XVI y XVII*, a cura di Ministerio de Cultura, p. 50.

In Italia, tra il XIII e il XVI secolo, il supporto più utilizzato è la tavola, composta da uno o più pannelli di legno uniti tra loro¹⁸. La modalità di preparazione, indicata da Cennini nel suo *Libro dell'Arte*¹⁹ rimase pressoché invariata fino al Cinquecento, e prevedeva tre diverse fasi: l'incollaggio, l'intelaggio e l'ingessatura²⁰.

Durante la prima fase, la colla, generalmente colla animale²¹, lasciata in ammollo in acqua per una notte (70 g colla/1 l di acqua) e scaldata fino a completo scioglimento, veniva stesa sul supporto con un pennello morbido fino a quattro mani. Questo procedimento prevedeva la completa asciugatura dei vari strati di colla tra una stesura e l'altra²².

Seguiva l'intelaggio, nell'ambito del quale sottili strisce di tessuto – solitamente lino vecchio, come indicato da Vasari e Cennini, ma anche cuoio o pergamena²³ come riferito da Teofilo –, precedentemente immerse in una soluzione di colla, erano stese sul supporto ancora inumidito di colla animale. Tale pratica interessò inizialmente l'intera superficie della tavola, mentre, a partire dal XV secolo, strisce in tela di lino e sfilacciature di stoppa o canapa furono applicate esclusivamente lungo le giunture delle assi e sulle irregolarità del legno (ad es. nodi)²⁴. In entrambi i casi, la funzione era quella non solo di creare una superficie quanto più omogenea possibile alla successiva stesura del *ground*, favorendone in tal modo

¹⁸ Merrifield M. P., 1967 [1849], *Original Treatise on the Arts of paintings*, I, John Murray, Londra, p. 282.

¹⁹ Cennini C., *Libro dell'arte*, pp. 114-225.

²⁰ *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, p. 19. Si ricordi, inoltre, come soprattutto per opere di grandi dimensioni la preparazione della tavola, anziché essere realizzata all'interno dell'*atelier* del pittore, fosse eseguita nelle botteghe dei cosiddetti ingessatori o doratori. Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press, p. 220.

²¹ *Ivi*, pp. 14-15. La colla animale derivava da capretti o da ritagli di cartapepora. Essa era prodotta mediante idrolisi del collagene, costituente proteico di pelle, tessuti connettivi e ossa animali.

²² *Ivi*, pp. 19-20.

²³ Inizialmente, si riteneva che l'uso della pergamena fosse stato abbandonato dopo il XIV secolo poiché quest'ultima tendeva ad accartocciarsi. Tuttavia, la questione sembra più complessa. Infatti, non solo Paolo Bensi (comunicazione orale) fa riferimento a una tecnica, inventata in Italia verso la metà del XVI secolo, che prevedeva l'incollaggio di un supporto più debole su uno più resistente, come la pergamena su tavola lignea, ma anche Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press, p. 218, affermano che la pergamena veniva usata nel XIV e XV secolo per la preparazione dei pannelli, in particolare nei paesi del Nord Europa.

²⁴ *Ivi*, pp. 20-21.

l'adesione, ma soprattutto di proteggere quest'ultimo dai movimenti naturali di dilatazione e contrazione del legno al fine di evitare crepe e spaccature²⁵.

Infine, l'ultimo passaggio era quello dell'ingessatura del supporto per la quale, già a partire da Cennini, la letteratura artistica illustra l'impiego di due diverse tipologie di gesso²⁶, il gesso grosso e il gesso sottile: il primo, cotto e impastato con colla animale, aveva una consistenza grossolana e resistente; il secondo – cotto, fatto macerare, macinato finemente, essiccato e miscelato a colla animale²⁷ – era più malleabile e aveva una granulometria fine²⁸.

Il procedimento prevedeva, innanzitutto, l'applicazione di gesso grosso in 2 o 3 mani mediante una spatola al fine di creare uno strato al contempo resistente alle sollecitazioni del supporto e privo di scabrosità superficiali. Questo, lasciato essiccare qualche giorno, era pulito da eventuali asperità persistenti con un raschiatoio. Seguiva la stesura di diverse mani di gesso sottile (fino a 8) in cui il primo strato risultava distribuito con movimenti circolari della mano al fine di incorporarlo al gesso grosso sottostante mentre i successivi, stesi l'uno sull'altro senza attenderne la totale asciugatura, erano applicati con un pennello morbido. Dopo circa due giorni di essiccamiento la superficie veniva cosparsa di polvere di

²⁵ *Ibidem*. Hendy P., Lucas A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, p. 270.

²⁶ Con il termine gesso, solfato di calcio, si indica sia il minerale ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) che il prodotto della calcinazione, ossia il suo riscaldamento ad alta temperatura. Il minerale scaldato, infatti, disidratandosi, perde l'acqua di cristallizzazione e in base alla temperatura utilizzata assume diverse caratteristiche: con un riscaldamento tra il 120°-180° esso si trasforma in solfato di calcio semiidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) che, mescolato nuovamente con acqua dà vita a una massa cristallina compatta di solfato di calcio biidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); con una temperatura superiore ai 180°, invece, persa interamente l'acqua di cristallizzazione, si trasforma in calcio anidro, detto anidrite (CaSO_4). Si veda, a tal proposito, *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, pp. 15-16. La preparazione in gesso, inoltre è la più antica e più usata nei dipinti dell'Occidente, ha probabilmente origine nell'antichità ed è l'equivalente di altri materiali usati in oriente come il khadi nei dipinti in miniatura indiani. Si veda Ward G.W.R., 2008, *Ground in The Grove Encyclopedia of Materials and Techniques in Art*, Oxford University Press, Oxford-New York.

²⁷ Per un approfondimento sulle tipologie di leganti impiegate nelle preparazioni si veda Hendy P., Lucas A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, p. 269. In particolare, tra le colle animali, quelle principalmente utilizzate sono la colla di coniglio e quella di pesce.

²⁸ *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, p. 16. Gettens R. J., Mrose M. E., 1954, *Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings*, in «Studies in Conservation», 1, 4, Taylor & Francis Ltd., p. 174.

carbone per evidenziarne eventuali irregolarità, anch'esse eliminate con il raschiatoio al fine di ottenere una superficie finale levigata ed omogenea²⁹.

Un'ulteriore differenziazione riguarda il contenuto in anidrite e solfato di calcio biidrato delle preparazioni italiane tra il XIV e il XVI secolo. È noto infatti come, mentre i *ground* delle scuole fiorentine, senesi e umbre presentano elevate quantità di anidrite (anche in proporzioni di 4:1), le preparazioni di scuola veneziana sono costituite esclusivamente da solfato di calcio biidrato³⁰. Nel primo caso, è probabile che la frequente presenza di anidrite sia da imputare alla difficoltà di controllo delle temperature dei forni e alla conseguente perdita dell'intera acqua di cristallizzazione del minerale³¹; nel secondo, invece, si ipotizza l'impiego di minerale naturale polverizzato e non cotto³². A partire dalla seconda metà del XV secolo il *ground* tende a divenire meno spesso e ad una riduzione del numero di strati si accompagna, ad eccezione della scuola toscana, l'impiego di una sola tipologia di gesso³³.

Nel caso in studio, la preparazione risulta essere costituita da un singolo strato a base di gesso e colla relativamente spesso mentre lo strato di imprimitura consiste in un unico *layer* incolore ricco in legante. Tale tipologia di intervento, introdotto al fine di isolare il *ground* poroso dagli strati pittorici sovrastanti legati ad olio o tempera grassa, poteva essere

²⁹ Ivi, pp. 20-22. Hendy P., Lucas A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, pp. 269-270.

³⁰ Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press, p. 218. Gettens R. J., Mrose M. E., 1954, *Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings*, in «Studies in Conservation», 1, 4, Taylor & Francis Ltd., pp. 176 e 180-188. *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, p. 17.

³¹ In Gettens R. J., Mrose M. E., 1954, *Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings*, in «Studies in Conservation», 1, 4, Taylor & Francis Ltd., p. 185, si avanza un'ulteriore ipotesi secondo la quale la cottura di pezzi più o meno grossi di gesso comporti una diversificazione di cottura degli stessi: l'esterno, scaldandosi prima, diventa anidrite mentre l'interno rimane parzialmente idratato.

³² Dunkerton, J., Roy, A., 1986, *The Technique and Restoration of Cima's "The Incredulity of S. Thomas*, in «National Gallery Technical Bulletin», 10, p. 5. *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, p. 17. Secondo Gettens R. J., Mrose M. E., 1954, *Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings*, in «Studies in Conservation», 1, 4, Taylor & Francis Ltd., p. 187, il *ground* della maggior parte dei dipinti veneziani è a base di gesso a grana fine derivato apparentemente da gesso bruciato reidratato.

³³ Stols-Witlox M., 2012, *Grounds 1400-1900*, in *The Conservation of Easel Paintings*, edited by Stoner J. H., Rushfield R., Routledge, London-New York, pp. 163-164. *Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, pp. 22-23. Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press, p. 218.

costituito, come nel caso in studio, da un livelletto ricco in legante a base di resina o della stessa colla impiegata nella preparazione³⁴ o da un sottile strato traslucido di olio siccattivo non pigmentato. In alcuni casi era, inoltre, impiegato, uno strato opaco di olio misto a bianco di piombo per accelerarne la siccavità³⁵.

Già a partire dal XIV secolo, gli artisti d'oltralpe erano soliti applicare uno strato di olio siccattivo tra la preparazione e gli strati pittorici. Tale pratica, di origine fiamminga, venne assunta stabilmente in Italia – in particolare in Veneto, in Lombardia e nelle botteghe dell'Italia centrale – a partire circa dalla metà del XV secolo per permanere fino alla fine del secolo successivo³⁶.

Sulla base della proposta avanzata dal consulente del Committente di attribuire il dipinto all'*entourage* vinciano³⁷, viene brevemente affrontato di seguito l'inquadramento del contesto storico-tecnico in cui si sviluppa, all'interno della bottega del Maestro, la pratica, comune in quegli anni, della preparazione a gesso e colla con strato isolante ricco in legante.

La bibliografia tecnica edita relativa ai dipinti vinciani rivela come Leonardo, nel corso della sua carriera artistica, abbia impiegato diversi tipi di preparazione, caratterizzati principalmente dalla diversa natura del *ground* e dalla presenza e/o colorazione dell'imprimitura. Tra queste tipologie si riscontra quella che vede l'impiego di un *ground* di gesso e colla sormontato da una imprimitura con funzione isolante, atta cioè a prevenire l'assorbimento del legante oleoso degli strati pittorici da parte del gesso della

³⁴ È noto come già Cennini consigliasse di applicare uno strato di colla o resina sciolta in uovo per la pittura a olio non solo su muro ma anche su altro supporto.

³⁵ Stando a Vasari l'imprimitura doveva non solo essere battuta a mano al fine di garantirne la compattezza e l'omogeneità ma contenere pigmenti siccativi quali il bianco di piombo, il giallo di piombo e stagno e le terre campane. Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press, pp. 218-219. *Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, pp. 23-24. Dunkerton J., Spring M., 1998, *The development of painting on coloured surfaces in sixteenth-century Italy*, in «Studies in Conservation», 43, p. 121.

³⁶ Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press, p. 218. *Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici*, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore, pp. 23-24.

³⁷ Si veda, a tal proposito, il testo scritto dal consulente del committente, Serge Kourtchevsky, dal titolo *Christ portant la Croix de la Renaissance Italienne, les clefs d'une énigme?* dell'agosto 2021.

preparazione³⁸. Uno strato preparatorio molto sottile (2 mm) costituito da gesso e colla si riscontra, ad esempio, nel *Battesimo di Cristo* (1472-1475), opera completata dall'artista entro la bottega del Verrocchio³⁹. La medesima composizione del *ground*, con una lieve aggiunta di olio, caratterizza anche la preparazione (1 mm) di un altro dipinto giovanile dell'artista, l'*Annunciazione* (1475-1478)⁴⁰. Leonardo ritorna, quindi, alla canonica preparazione in gesso anche in una delle ultime opere attribuitegli, il *San Giovanni Battista* (1506-1513) che presenta, infatti, un *ground* in gesso e colla sormontato dal cosiddetto 'livelletto', sottile strato incolore e ricco in legante, steso con funzione di isolante⁴¹. La presenza di quest'ultimo strato si rileva anche all'interno di opere di scuola leonardesca, conservate presso la National Gallery di Londra, quali la *Madonna con Bambino* (ca. 1493-1499) e il *Ritratto di uomo di profilo* (ca. 1500), attribuiti a Giovanni Antonio Boltraffio e la *Madonna con Bambino* (ca. 1520) di Marco d'Oggiono⁴².

Inoltre, dal momento che il modello pittorico di riferimento per questa composizione del Cristo caricato della croce ad oggi si riconosce tra le varie versioni e copie⁴³ prodotte nella scuola leonardesca milanese ed in particolare tratte dal *Cristo portacroce* (1519-1520) di

³⁸ Stols-Witlox M., 2012, *Grounds 1400-1900*, in *The Conservation of Easel Paintings*, edited by Stoner J. H., Rushfield R., Routledge, London-New York, pp. 163-164.

³⁹ Del Serra A., *Il restauro*, in *Lo sguardo degli angeli: Verrocchio, Leonardo e il Battesimo di Cristo*, a cura di Natali A., Silvana Editoriale, Milano, 1998, p. 95.

⁴⁰ Del Serra A., *L'incanto dell'Annuncio. Rendiconto di restauro*, in *L'Annunciazione di Leonardo. La montagna sul mare*, a cura di Natali A., Silvana Editoriale, Milano, 2000, p. 95.

⁴¹ Ravaud E., Eveno M., Bastian G., *L'art de la matière, l'art et la manière*, in *Leonard de Vinci*, catalogo della mostra (Parigi, 24 ottobre 2019-5 febbraio 2020), a cura di Delieuvin V., Frank L., Parigi, Musée du Louvre, Louvre éditions, 2019, pp. 360-361.

⁴² Spring M., Mazzotta A., Roy A., Billinge R., Peggie D., *Painting Practice in Milan in the 1490s: The Influence of Leonardo*, in «National Gallery technical bulletin», XXXII, 2011, pp. 94, 98 e 106.

⁴³ In merito alle numerose copie e versioni del soggetto si veda Geddo C., *Leonardeschi tra Lombardia ed Europa: i 'Giampietrino' della Mitteleuropa*, in *Lombardia ed Europa: incroci di storia e cultura*, a cura di Zardin D., Milano, 2014, pp. 82-92. Una comparazione con le versioni maggiormente note della composizione riconducibili a Giampietrino è stata condotta da Serge Kourtchevsky nel suo testo dal titolo *Christ carrying the cross of the Italian Renaissance, documented study and comparison with Giampietrino* (giugno 2022).

Budapest del Giampietrino⁴⁴, si è proceduto ad un approfondimento relativo alle modalità di preparazione dei supporti praticate dal Rizzoli nel corso della sua carriera⁴⁵.

La *Madonna con Bambino* del Rijksmuseum di Amsterdam⁴⁶ (ca. 1510-1525), la *Maddalena al sarcofago* di collezione privata (primo decennio del Cinquecento) e la *Madonna con Bambino tra i santi Girolamo e Giovanni Battista* di Pavia (1521) presentano una preparazione in gesso e colla sulla quale, negli ultimi due dipinti, è osservabile una chiusura a colla animale che, in accordo con quanto affermato da Cennini nel suo *Libro dell'arte*, aveva la funzione di attenuare l'assorbimento del legante lipidico da parte della preparazione, evitando così l'alterazione cromatica del dipinto. Tali opere possono, inoltre, essere differenziate tra loro in base all'imprimitura. La *Madonna con Bambino* di Amsterdam mostra un'imprimitura bianca a base di biacca e olio almeno nelle campiture blu e verdi. La *Maddalena al sarcofago*, presenta l'assenza dell'imprimitura per l'incarnato e lo sfondo nero, dove le campiture sono stese direttamente sul gesso, mentre un'imprimitura bianca di biacca e olio è stata rilevata al di sotto del verde della veste, così da rendere il colore maggiormente brillante. Nella ancona pavese, infine, l'effetto visivo del bianco puro del gesso viene smorzato dal pittore mediante l'uso nelle campiture studiate (incarnato, arancione, verde, blu, rosso, marrone) di un'imprimitura grigia. Questa, documentata anche nel *Cristo portacroce* (ca. 1510-1530) e nella *Salomè* (ca. 1510-1530) della National Gallery di Londra⁴⁷, gioca presumibilmente un ruolo chiave nell'ottenimento della modulazione tonale desiderata dal Rizzoli.

⁴⁴ È Cristina Geddo a indicare l'opera di Budapest come prototipo della serie da lei studiata. Si veda, a tal proposito, Geddo C., *Leonardeschi tra Lombardia ed Europa: i 'Giampietrino' della Mitteleuropa*, in *Lombardia ed Europa: incroci di storia e cultura*, a cura di Zardin D., Milano, 2014, pp. 82-92. Si sottolinea, inoltre, come all'interno del medesimo testo (p. 88) la studiosa faccia riferimento ad una replica della composizione del Rizzoli che, attestata nel 2004 all'interno del mercato antiquariale di Lugano, non solo presenta una Maria addolorata al posto dell'aguzzino ma sarebbe da ricondurre alla mano del cosiddetto Pseudo-Giampietrino B. Sulle figure di quest'ultimo e dello Pseudo-Giampietrino A si veda Geddo C., *La Madonna di Castel Vitoni di Giampietrino*, in «Achademia Leonardi Vinci», VII, Firenze, Giunti, 1994, pp. 57-67.

⁴⁵ Si veda, a tal proposito, *Storia e diagnosi di testimonianze leonardesche. III. Maddalena al sarcofago*, a cura di Matteucci C., presentazione di Pedretti C., CB Edizioni, Poggio a Caiano, 2016.

⁴⁶ *Madonna and Child*, Giampetrino (attributed to), Amsterdam, Rijksmuseum: <https://www.rijksmuseum.nl/en/collection/SK-A-3033>.

⁴⁷ Per le due opere della National Gallery si veda Keith L., Roy A., *Giampietrino, Boltraffio and the influence of Leonardo*, in «National Gallery Technical Bulletin», XVII, 1996, pp. 4-19.

Per quanto concerne la tavolozza, i pigmenti impiegati nell'opera studiata sono per la maggior parte in uso fin dall'antichità. Si tratta di bianco di piombo, ocre e terre, cinabro/vermiglione, lacche rosse, nero di carbone, nero d'ossa e pigmenti a base di rame⁴⁸. È attestato anche l'uso di giallo di piombo e stagno di tipo I. Il medium impiegato è olio.

Il pigmento oggi noto come giallo di piombo e stagno ha conosciuto nei secoli e soprattutto nelle diverse aree geografiche diverse denominazioni⁴⁹. In Italia risulta citato con il nome obsoleto di *giallorino* e/o *giallolino* nei trattati di Cennini, Leonardo da Vinci, Lomazzo (etc.)⁵⁰, i manoscritti inglesi e nord europei lo ricordano, invece, con il termine *massicot/masticot*; è citato, inoltre, con la voce *genuli* in documenti spagnoli, *general* in quelli inglesi e *plygal* in testi in lingua germanica. Infine, anche il termine *machim*, raramente usato e rilevato nel manoscritto portoghese di mano di Nunes (1615), sembra riferirsi al giallo di piombo e stagno⁵¹.

Esistono due diverse tipologie di giallo di piombo e stagno, designate come tipo I e tipo II⁵²: il tipo I ha composizione Pb₂SnO₄; il tipo II può contenere silice e ossido di stagno libero, senza una composizione stechiometrica definita variabile da PbSnO₃ a Pb(Sn, Si)O₃. Le ricette di entrambi i tipi sono state riscontrate nel Manoscritto Bolognese della prima metà del XV secolo⁵³. Prima del 1300 pochi dipinti e statue policrome presentano l'utilizzo di questo pigmento; il tipo II, infatti, il più antico tra le due tipologie, era impiegato principalmente come opacizzante per vetri e smalti ceramici e ad esso, in pittura, era preferito l'orpimento⁵⁴.

⁴⁸ Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Garcia I., 2001, *op. cit.*, pp. 32-37, 76-79, 83-86, 158-160, 171-172.

⁴⁹ Kühn H., *Lead-Tin yellow, in Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*, II, a cura di Roy A., Archetype Publications, Londra, 1993, pp. 83-111.

⁵⁰ Merrifield M. P., *Original Treatise on the Arts of paintings*, John Murray, Londra, 1849.

⁵¹ Eastaugh N., Walsh V., Chaplin T., Siddall R., *Pigment Compendium: A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*, Routledge, 2008, p. 238.

⁵² Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Garcia I., 2001, *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, pp. 101-104.

⁵³ Merrifield M. P., *Original Treatise on the Arts of paintings*, John Murray, Londra, 1849.

⁵⁴ Kühn H., *Lead-Tin yellow, in Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*, II, a cura di Roy A., Archetype Publications, Londra, 1993, p. 86. Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Garcia I., 2001, *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, p. 101.

Ad ogni modo, tutti i dipinti in cui è stato rilevato l'impiego del giallo di piombo e stagno sono riconducibili al lasso di tempo intercorso tra il 1300 e il 1750. In particolare, una maggiore frequenza di utilizzo è stata riscontrata nel XV, XVI e XVII secolo mentre già a partire dalla prima metà del XVIII secolo le occorrenze cominciano a farsi meno frequenti. Dal 1750, infatti, non vi è all'interno delle fonti alcuna menzione di pigmenti a base di piombo e stagno almeno fino al 1941, anno della riscoperta e sintetizzazione del pigmento ad opera di Jacobi presso il Doerner Institute di Monaco⁵⁵.

Il giallo di piombo e stagno di tipo II, probabilmente derivato dalla manifattura vetraria, è il primo ad essere utilizzato in pittura e viene riscontrato principalmente in opere realizzate tra il XIV e il XVI secolo; in particolare, risulta essere diffuso a Firenze⁵⁶ durante il XIV secolo e a Venezia e in Boemia durante il XVI secolo⁵⁷. Viene, quindi, soppiantato in Italia dal tipo I durante il secondo quarto del XV secolo⁵⁸, probabilmente con ricette provenienti dalla Germania. Questo, infatti, maggiormente diffuso e meno costoso⁵⁹ rispetto al tipo II, era indicato con il nome di giallo tedesco⁶⁰ e risulta ampiamente impiegato almeno fino alla prima metà del XVIII secolo. Non deve stupire, tuttavia, l'identificazione del giallo di piombo e stagno di tipo II in dipinti del XVI e XVII secolo dell'area veneziana di artisti quali Tintoretto o Veronese. La periodizzazione delle due forme cristallografiche non è, infatti, ancora chiara e sembra che a Venezia, centro di produzione di vetro e cristalli, il tipo II non sia caduto in disuso.

⁵⁵ La presenza o meno del giallo di piombo e stagno all'interno di un'opera può dunque essere un'evidenza indicativa all'interno del processo di autenticazione. Tuttavia, non è da escludere che tale pigmento possa essere stato impiegato in copie e falsi realizzati dopo il 1941.

⁵⁶ Nei dipinti fiorentini gli esempi più antichi di giallo di piombo e stagno derivano da opere ascritte a Giotto e alla bottega dei Cione.

⁵⁷ Kühn H., *Lead-Tin yellow, in Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*, II, a cura di Roy A., Archetype Publications, Londra, 1993, p. 86.

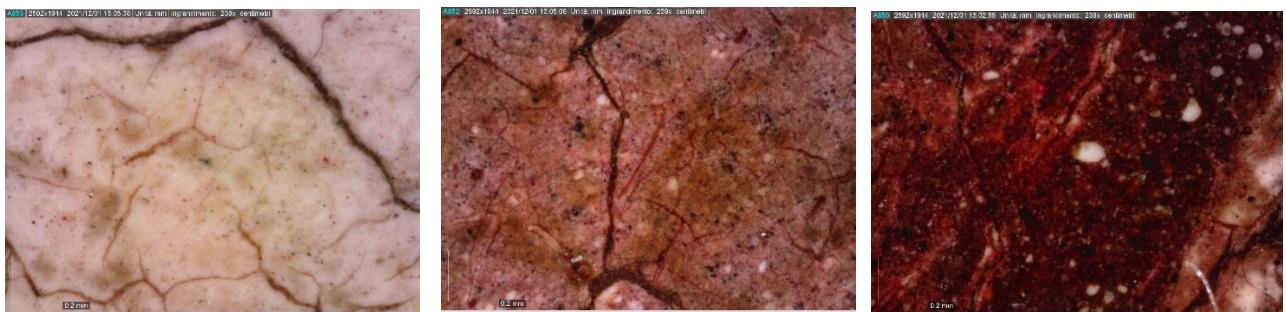
⁵⁸ Martin E., Duval A. R., *Les deux varietes de jaunede plomb et d'etain: etude chronologique*, in «Studies in Conservation», 35, 3, 1990, pp. 117-136.

⁵⁹ Lo *zalolin* (tipo I) costava la metà rispetto allo *zalolin de vasari* (tipo 2) come riportato da Lorenzo lotto nel 1538-1542 per la diversa metodologia di preparazione.

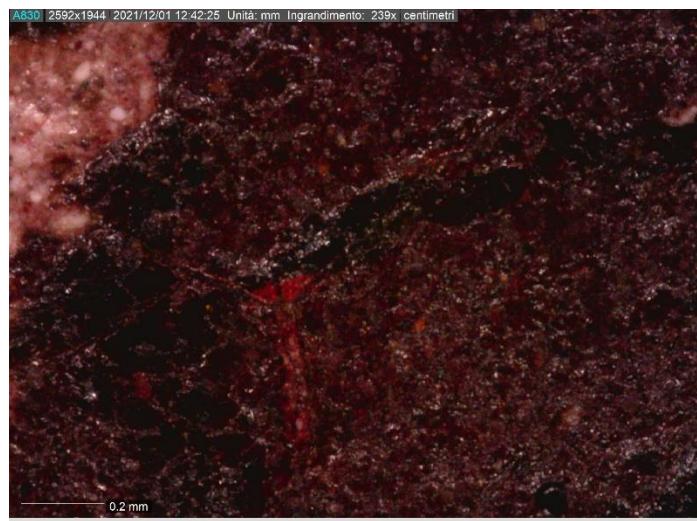
⁶⁰ Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Garcia I., 2001, *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, pp. 101-104.

Dalle indagini in spettroscopia a raggi X nonché dall'osservazione delle riprese in videomicroscopia digitale è possibile ricostruire la composizione degli incarnati in luce, rosato e in ombra. In particolare, l'incarnato in piena luce è costituito in prevalenza da biacca e lacca rossa. L'incarnato rosato è realizzato con biacca, cinabro, ocre e lacca mentre quello in ombra prevede l'impiego di biacca, ocre, cinabro, rari inclusi di lacca e nero carbone.

È opportuno, inoltre, segnalare la presenza di cinabro/vermiglione per rendere più profondo il nero della pupilla, così come documentato dalle riprese in videomicroscopia digitale e dalle indagini in spettroscopia di fluorescenza a raggi X.



Immagini in videomicroscopia degli incarnati, 230x: in luce (*a sinistra*), rosato (*al centro*), in ombra (*a destra*)



Immagini in videomicroscopia della pupilla, 230x

Dalle indagini in spettroscopia di fluorescenza di raggi X, si rileva la presenza costante su quasi la totalità delle campiture, ad esclusione di quelle molto chiare e in piena luce, di un pigmento a base di rame: potrebbe trattarsi verosimilmente di resinato di rame impiegato come siccattivo dell'olio.

Per concludere, in riferimento alle numerose evidenze scientifiche presentate in questo *report* nonché a quelle ricavate dai precedenti studi tecnico-scientifici messi a disposizione del Laboratorio Diagnostico dal Committente⁶¹, si può affermare che il *Cristo portacroce* di collezione privata sia stato realizzato con materiali e tecniche tradizionalmente impiegati da artisti della scuola italiana tra la seconda metà del XV secolo e la fine del XVI secolo. A rendere probabile questa provenienza e l'intervallo temporale concorrono il supporto in legno di pioppo, il tipo di preparazione a gesso e colla in un unico strato, il livello ricco in legante e i pigmenti.

* *In base alla normativa vigente, non è concesso pubblicare questo testo senza il consenso degli autori, né riassumerlo o utilizzarne in qualche modo il contenuto senza menzionarne la fonte. Le indagini sono effettuate senza alcuna riserva allo stato attuale delle conoscenze e della tecnologia.*

⁶¹ Si vedano, a tal proposito, i documenti forniti dal consulente del committente, Serge Kourtchevsky, nel suo testo dal titolo *Christ portant la Croix de la Renaissance Italienne, les clefs d'une énigme?* dell'agosto 2021. Tra di essi si citano, a titolo d'esempio, il *Multispectral Study* eseguito da Lumière Technology (12 agosto 2020); le *Scientific Investigations* effettuate da Editech S.r.l. (Luglio 2011; ppt 01-08); le datazioni C¹⁴ del supporto eseguite dal CDRC di Lione e dall'ETH di Zurigo; l'analisi della superficie pittorica e dei pigmenti realizzata dall'Istituto Svizzero di Studi d'Arte di Zurigo (1990); la riflettografia infrarossa dell'IRPA-KIK di Bruxelles; la radiografia eseguita dalla GER di Cuy. Per lo stato di conservazione dell'opera si vedano, in particolare, il *Multispectral Study* della Lumière Technology (12 agosto 2020) e le *Scientific Investigations* effettuate da Editech S.r.l. (Luglio 2011; ppt 01-08). Si veda, infine, il testo redatto da Serge Kourtchevsky dal titolo *Christ carrying the cross of the Italian Renaissance, documented study and comparison with Giampietrino*, del giugno 2022.

Bibliografia

AA.VV., 1995, *La fabbrica dei colori. Pigmenti e coloranti nella pittura e nella tintoria*, a cura di Rinaldi S., Il Bagatto, Roma.

Bevilacqua N., Borgioli L., Adrover Gracia I., *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*, Il Prato, Firenze, 2010.

Burgio L., Clark R.J.H., 2001, *Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation*, in «*Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*», CVII, pp. 1491-1521.

Caggiani M. C., Cosentino A., Mangone A., 2016, *Pigments Checker version 3.0, a handy set for conservation scientists: A free online Raman spectra database*, in «*Microchemical Journal*», CXXIX, pp. 123-132.

D'Angelini I. M., Carbone C., Nagostinis M., Parise M., Vattano M., Madonia G., De Waele J., 2018, *New insights on secondary minerals from Italian sulfuric acid caves*, in «*International Journal of Speleology*», XLVII, 3, pp. 271-291

Del Serra A., *Il restauro*, in *Lo sguardo degli angeli: Verrocchio, Leonardo e il Battesimo di Cristo*, a cura di Natali A., Silvana Editoriale, Milano, 1998, pp. 95-118.

Del Serra A., *L'incanto dell'Annuncio. Rendiconto di restauro*, in *L'Annunciazione di Leonardo. La montagna sul mare*, a cura di Natali A., Silvana Editoriale, Milano, 2000, pp. 95-111.

Dunkerton, J., Roy, A., 1986, *The Technique and Restoration of Cima's "The Incredulity of St. Thomas*, in «*National Gallery Technical Bulletin*», 10, pp. 4-27.

Dunkerton J., Spring M., 1998, *The development of painting on coloured surfaces in sixteenth-century Italy*, in «*Studies in Conservation*», 43, pp. 120-130.

Dunkerton J., Foister S., Penny N., *Durer to Veronese, Sixteenth-Century Painting in the National Gallery*, 2002, Yale University Press.

Eastaugh, N., *Pigment compendium: a dictionary and optical microscopy of historical pigments*, Amsterdam, Butterworth-Heinemann, 2008.

Geddo C., *La Madonna di Castel Vitoni di Giampietrino*, in «*Achademia Leonardi Vinci*», VII, Firenze, Giunti, 1994, pp. 57-67.

Geddo C., *Leonardeschi tra Lombardia ed Europa: i 'Giampietrino' della Mitteleuropa*, in *Lombardia ed Europa: incroci di storia e cultura*, a cura di Zardin D., Milano, 2014, pp. 69-108.

Gettens R. J., Mrose M. E., 1954, *Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings*, in «*Studies in Conservation*», 1, 4, Taylor & Francis Ltd., pp. 174-189.

Gettens R. J., Stout G. L., 1966, *Painting Materials, A Short Encyclopaedia*, Dover Publications, New York.

Hendy P., Lucas A.S., 1968, *Les préparations des peintures*, in «Museum», XXI, 4, pp. 245- 276.

Keith L., Roy A., *Giampietrino, Boltraffio and the influence of Leonardo*, in «National Gallery Technical Bulletin», XVII, 1996, pp. 4-19.

Kühn H., *Lead-Tin yellow*, in *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*, II, a cura di Roy A., Archetype Publications, Londra, 1993, pp. 83-111.

Lalli C., 2010, *Tecniche e Metodi di Indagine per la Caratterizzazione dei Materiali e della Tecnica di Esecuzione delle Pitture su Tavola e su Tela dal XV al XVII Secolo*, in *La pintura europea sobre tabla. Siglos XV, XVI y XVII*, a cura di Ministerio de Cultura.

Leonard de Vinci, catalogo della mostra (Parigi, 24 ottobre 2019–5 febbraio 2020), a cura di Delieuvin V., Frank L., Parigi, Musée du Louvre, Louvre éditions, 2019.

Madonna and Child, Giampetrino (attributed to), Amsterdam, Rijksmuseum: <https://www.rijksmuseum.nl/en/collection/SK-A-3033>.

Martin E., Duval A. R., *Les deux varietes de jaunede plomb et d'etain: etude chronologique*, in «Studies in Conservation», 35, 3, 1990, pp. 117-136.

Marucci G., Beeby A., Parker A. W., Nicholson C. E., 2018, *Raman spectroscopic library of medieval pigments collected with five different wavelengths for investigation of illuminated manuscripts*, in «Analytical Methods», X, pp. 1219-1236.

Merrifield M. P., *Original Treatise on the Arts of paintings*, John Murray, Londra, 1849.

Preparazione e finitura delle opere pittoriche. Materiali e metodi. Preparazione e imprimiture, leganti, vernici, cornici, 1993, a cura di Maltese C., Ugo Mursia Editore.

Seccaroni C., Moioli P., 2002, *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*, Firenze.

Spring M., Mazzotta A., Roy A., Billinge R., Peggie D., *Painting Practice in Milan in the 1490s: The Influence of Leonardo*, in «National Gallery technical bulletin», XXXII, 2011, pp. 78-112.

Stols-Witlox M., 2008, *Sizing layers for oil painting in western European sources (1500-1900): historical recipes and reconstructions*, in *Art Technology: Sources and Methods*, a cura di Kroustallis S., Townsend J.H., Cenalmor Bruquetas E. et al., pp. 147-165.

Stols-Witlox M., 2012, *Grounds 1400-1900*, in *The Conservation of Easel Paintings*, edited by Stoner J. H., Rushfield R., Routledge, London-New York, pp. 161-185.

Storia e diagnosi di testimonianze leonardesche. I. Ritratto di Gentildonna, a cura di Matteucci C., presentazione di Pedretti C., CB Edizioni, Poggio a Caiano, 2015.

Storia e diagnosi di testimonianze leonardesche. III. Maddalena al sarcofago, a cura di Matteucci C., presentazione di Pedretti C., CB Edizioni, Poggio a Caiano, 2016.

Ward G.W.R., 2008, *Ground* in *The Grove Encyclopedia of Materials and Techniques in Art*, Oxford University Press, Oxford-New York.

Report e materiali inediti:

Kourtchevsky S., *Christ portant la Croix de la Renaissance Italienne, les clefs d'une énigme?* (agosto 2021).

Lumière Technology, *Multispectral Study* (12 agosto 2020)

Editech S.r.l., *Scientific Investigations* (Luglio 2011; ppt 01-08)

Kourtchevsky S., *Christ carrying the cross of the Italian Renaissance, documented study and comparison with Giampietrino* (giugno 2022).

CDRC, datazione C14 del supporto (Lione)

ETH, datazione C14 del supporto (Zurigo)

ISEA, *The Technological Examination Report* (Zurigo, 1991)

IRPA-KIK, riflettografia infrarossa (Bruxelles)

GER, radiografia (Cuy)

Appendice 1.

Risultati Spettroscopia di fluorescenza di raggi X