

**LO STUDIO DELLA PREPARAZIONE, DELLA BIANCA D'IMPRIMITURA
E DEL COLORE SU ALCUNI CAMPIONI PRELEVATI DALL'ULTIMA
CENA DI LEONARDO DA VINCI**

(Antonietta Gallone)

1. PREMESSA

Lo studio riguarda le analisi effettuate con metodi chimico-fisici su campioni prelevati dall' Ultima Cena di Leonardo da Vinci, condotte al fine di identificare e localizzare i leganti proteici e oleosi nei singoli strati della pellicola pittorica, operando sulle sezioni trasversali.

Si descrivono le tecniche analitiche impiegate e i metodi di colorazione effettuate sulle sezioni dei campioni.

Si espongono le tappe del lavoro di ricerca, illustrandone lo svolgimento e i risultati ottenuti. La Parte I riguarda lo studio della preparazione e della bianca d'imprimitura su campioni prelevati prima del restauro in una zona al margine sinistro del dipinto (1994-95).

La Parte II riporta le indagini eseguite sul colore in campioni provenienti da un'area più ampia (1996).

Seguono le Appendici: in esse si mettono a disposizione degli studiosi le schede illustrative di campioni prelevati nel corso del restauro per mettere in luce particolari situazioni locali, con indicazioni riguardanti i componenti inorganici.

Appendice A:

- intonaci dalle lunette e dalla Cena:
risultati delle analisi mineralogiche - per diffrazione di raggi X, al microscopio in luce polarizzata rettilineamente e a nicol incrociati (con fotografie)
- stucchi: schede con fotografie al microscopio ottico delle sezioni stratigrafiche; loro composizione

- Appendice B:

schede descrittive di campioni prelevati dalla superficie dipinta nel corso del restauro, con fotografie al microscopio ottico delle sezioni stratigrafiche e relativa composizione

1.1 All'inizio dei lavori di restauro del Cenacolo Vinciano erano state eseguite da chi scrive, per incarico della Soprintendenza per Beni Artistici e Storici di Milano, delle analisi chimico-fisiche su campioni di intonaco, di stucchi e di colore e prelevati dalle lunette (1) e dalla zona destra dell'Ultima Cena.

La natura dei materiali inorganici e la struttura stratigrafica dei frammenti prelevati era stata determinata mediante tecniche di diffrazione X, analisi mineralogica su sezione sottile, analisi per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica (2).

In quell'occasione non si erano svolte indagini sulla natura dei *materiali organici*.

In seguito, avendo intrapreso in collaborazione con Giovanni Bottiroli del Centro di Studio per l'Istochimica C.N.R. di Pavia un lavoro di messa a punto di tecniche di microspettrofluorimetria applicate all'analisi della materia pittorica di dipinti - in particolare dei leganti (3) - erano stati analizzati alcuni campioni di colore prelevati dell'Ultima Cena, preparati in sezione per lo studio generale di cui sopra.

La fotografia in luce U.V. di tali campioni aveva indicato un'emissione molto intensa di luce di fluorescenza nel visibile da parte della preparazione, più debole e spenta negli strati di colore, da attribuire a leganti di natura diversa.

Non si era condotto uno studio sistematico su questi campioni, poiché non rientrava nelle finalità della ricerca; si erano analizzati solo alcuni punti registrando i risultati.

Parallelamente si erano eseguite prove di colorazione con reagenti specifici per proteine - colla animale, uovo - e sostanze oleose. La tecnica è semplice ma efficace, poiché, visualizza i leganti nelle varie zone della sezione, senza dover separare al microscopio gli strati della pellicola pittorica.

I risultati di questi esami erano concordi: indicavano la presenza di colla animale e di olio nella preparazione, di olio nella biacca e di un legante proteico nel colore.

Alla fine del 1994 sono stati prelevati alcuni campioni dalla zona sinistra del dipinto, verso il bordo, non ancora raggiunta dal restauro (Fig. 1), al fine di continuare l'indagine sui leganti - limitatamente alla preparazione e alla biacca d'imprimitura - mediante tecniche microspettrofluorimetriche più avanzate messe a punto recentemente (4).

Le analisi avrebbero condotto a una mappatura stratigrafica sia dei composti inorganici sia dei leganti che compongono la preparazione e la materia pittorica, nell'intento di verificare ipotesi riguardanti le condizioni iniziali del dipinto e di mettere in evidenza l'azione dei materiali tardi.

1.2 L'indagine sui primi campioni (1994) si è svolta in due fasi:

- determinazione dei *composti inorganici* della preparazione, della biacca d'imprimitura e del colore originale - ove presente - mediante l'analisi per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica (Electron Probe X-ray Microanalysis, E.P.M.A.)
- analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.) di orientamento e prove di colorazione su microframmenti per i *leganti organici*
- prove di colorazione eseguite su 12 frammenti - tre per ciascun prelievo - ognuno trattato successivamente con coloranti specifici per colla, uovo, olio:
 complessivamente 36 prove (su sezioni trasversali)
 In base ai risultati delle colorazioni, si sono scelti, tra i 12 frammenti, i 4 più significativi - uno per ogni prelievo - sui quali si è eseguita l'analisi M.S.F.L. nelle zone individuate come le più adatte a rispondere ai quesiti conseguenti ai risultati della prima fase.

Questa metodica semplice, che si vale delle tecniche incrociate - M.S.F.L. e prove di colorazione - contribuisce a chiarire alcuni aspetti di situazioni

complicate come quelle che si presentano nell'Ultima Cena, mettendo tra l'altro in evidenza le miscele dei leganti, assai diffuse nel dipinto per i ripetuti interventi del passato, anche nelle infiltrazioni di materiali tardi.

Le informazioni che si ottengono appaiono sufficienti a fornire un'informazione di primo livello: i leganti si individuano come famiglie, non come componenti singoli; si distingue la colla animale dal caseato di calcio, ma non il bianco d'uovo dal tuorlo; s'individua la presenza di sostanze oleose, ma non si può distinguere l'olio di lino da altri oli (noce, papavero).

La discussione dei risultati è corredata da fotografie al microscopio, tabelle e curve spettrali debitamente commentate.

2. METODI DI ANALISI

In questa sezione si descrivono le tecniche analitiche impiegate, con particolare riguardo all'applicazione della microspettrofluorimetria allo studio dei leganti.

2.1 - Sono state impiegate le seguenti tecniche analitiche:

- esame morfologico al microscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.)
- test microchimici
- analisi per fluorescenza di raggi X dispersiva in energia alla microsonda elettronica (E.P.M.A.)
(*su sezioni trasversali levigate di campioni inglobati in resina poliesteri*)
- analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.) (*sulle medesime sezioni*)
- prove di colorazione con reagenti specifici per i leganti proteici e oleosi (*su sezioni*)

2.1.1 - *L'analisi alla microsonda elettronica*

Ha condotto alla determinazione stratigrafica dei componenti inorganici della preparazione e della materia pittorica dalla rivelazione della fluorescenza X caratteristica degli elementi costitutivi (5)
Per la preparazione sono stati determinati i rapporti Si/Ca e Mg/Ca.

Strumentazione. È stato impiegato un microscopio elettronico a scansione - S.E.M - Stereoscan 360 Leika/Cambridge Instrument con sistema di microanalisi - E.D.S.- Link

L'allestimento dei campioni

Microframmenti significativi sono stati inglobati in resina poliesteri, sezionati e levigati, in modo da portare in vista la sezione trasversale della pellicola pittorica e la preparazione sottostante (6).
I campioni così preparati sono stati fotografati al microscopio ottico Zeiss Axiotron (obbiettivi: 10x, 20x).

2.1.2 - *L'analisi microspettrofluorimetrica*
(in collaborazione con Giovanni Bottiroli, Centro
di Studio per l'Istochimica C.N.R. - Pavia)

Ha consentito di individuare la natura dei leganti e delle loro miscele dall'esame delle caratteristiche delle curve spettrali di fluorescenza UV/Visibile.

Le tecniche fluorimetriche non sono distruttive. Se associate a strumentazione da microscopia, si possono applicare a campioni di dimensioni esigue, consentendo di caratterizzarli spazialmente.

La tecnica spettroscopica relativa alla fluorescenza UV-Visibile da noi messa a punto offre il vantaggio, rispetto a quella IR, di essere di interpretazione più semplice, poiché, rivela caratteristiche legate ai gruppi cromofori delle molecole e non dei singoli componenti delle medesime, pur conservando una sensibilità sufficiente a discriminare i principali leganti del colore, quali l'olio, la colla animale e l'uovo.

L'allestimento dei campioni

L'analisi microspettrofluorimetrica si è eseguita sugli stessi campioni preparati per l'analisi alla microsonda elettronica, nei vari strati della sezione trasversale. Mediante le tecniche microanalitiche di fluorescenza X e di spettrofluorimetria è stato quindi possibile ottenere nelle medesime regioni del campione un'informazione puntuale e completa sulla natura della materia pittorica (pigmenti e leganti).

Ricordiamo che le dimensioni lineari di un campione sono dell'ordine dei millimetri e il loro prelievo, qualora sia possibile, come avviene in occasione di un restauro, se eseguito correttamente nelle zone appropriate, non danneggia la superficie pittorica e permette di costituire una banca di materiali pittorici preziosi e unici, pronti per gli esami che il progredire delle metodologie analitiche potrà consentire.

Tali esami saranno tanto più efficaci in quanto le future ricerche, avendo come punto di partenza i risultati ottenuti in precedenza, potranno essere focalizzate su aspetti rimasti oscuri e approfondire ed estendere la conoscenza di un'opera.

Strumentazione

I campioni prelevati dall'Ultima Cena sono stati analizzati mediante un microspettrofluorimetro operante presso il Centro di Studio per l'Istochimica CNR di Pavia, normalmente usato per ricerche biomediche (7).

La strumentazione è composta da un microscopio per fluorescenza che impiega come sorgente di eccitazione una lampada a vapori di mercurio da 100 W, operante in epi-illuminazione e con opportuni sistemi di diaframmatura sull'eccitazione e sull'emissione per la selezione delle regioni da analizzare fino a dimensioni compatibili con la risoluzione del microscopio.

La radiazione di fluorescenza emessa nel visibile dal campione è scomposta da un reticolo nelle sue componenti cromatiche, indi focalizzata su un rivelatore multiplo costituito da una sequenza lineare di 512 fotodiodi.

Il segnale in uscita dai fotodiodi è gestito da un sistema O.M.A. (Optical Multi-Analyzer) che provvede alla ricostruzione e alla presentazione dei profili spettrali e che ne consente l'eventuale elaborazione.

La registrazione di uno spettro avviene in tempi compresi tra 0.5 e 2 secondi, eliminando o comunque riducendo al minimo, i rischi dovuti all'attivazione di effetti fotochimici che potrebbero introdurre distorsioni nella forma spettrale.

Per eccitare la fluorescenza dei campioni si è selezionata la riga di emissione - di lunghezza d'onda 366 nm - della lampada a vapori di mercurio mediante un filtro interferenziale in combinazione con i filtri antitermici KG1 e BG38.

Con la lamina in quarzo 50/50% si sono realizzate le condizioni di epi-illuminazione. Un filtro di sbarramento 385 nm ha escluso la quota di luce riflessa dall'eccitazione.

Per le misure si sono impiegati gli obbiettivi a secco 10x, 25x e 40x, scelti in funzione delle dimensioni delle zone da analizzare.

Per la messa a punto della metodica si sono analizzati dei campioni di riferimento, invecchiati naturalmente per non meno di quindici anni, costituiti da leganti di impiego più comune - colla animale, caseina, uovo e olio di lino - anche combinati con vari pigmenti (8).

L'analisi ha evidenziato due aspetti importanti:

- tutti i leganti organici considerati sono caratterizzati da una buona resa di emissione di fluorescenza
- gli spettri di fluorescenza dei singoli leganti si differenziano sia per la diversa lunghezza d'onda di picco sia per la larghezza di banda.

Per le miscele pigmento-legante, la presenza del pigmento dà luogo a piccole modificazioni delle caratteristiche spettrali dei vari leganti, tuttavia perfettamente distinguibili dovute a fenomeni di riassorbimento o di sovrapposizione di bande di fluorescenza: i picchi degli spettri risultano in ogni caso ancora ben distanziati, così da consentire l'identificazione delle varie miscele.

Altre prove eseguite con miscele pigmento fluorescente-legante hanno indicato delle modifiche nello spettro nella regione di fluorescenza del pigmento, senza tuttavia alterare le separazioni relative dei picchi riferibili ai vari leganti.

I risultati forniti dall'analisi di modelli standard hanno confermato i presupposti della ricerca, indicando che:

- i leganti in esame hanno una buona resa di emissione di fluorescenza che permette di rivelarne la presenza nella materia pittorica
- i leganti hanno spettri di emissione caratteristici che ne consentono l'identificazione.

2.1.3 - Le prove di colorazione

La tecnica basata sull'impiego dei coloranti, storicamente la prima ad essere proposta in istochimica, consente di identificare e localizzare particolari sostanze presenti nel campione.

Presso il Laboratoire de Recherche des Musées de France (9), (10) si è messa a punto una metodologia atta alla rivelazione puntuale di leganti particolari (colla animale, uovo, caseina, olio) contenuti nel colore. La prova si esegue sulle sezioni sottili. Non è distruttiva per il campione, ma è irreversibile.

Per le proteine il reagente impiegato è il naftolo 10B blu-nero, noto come nero amido, in tre soluzioni di diverso pH ($C_{22}H_{14}N_6O_9S_2Na_2$).

L'intensità della colorazione dipende dalla struttura della molecola (numero di gruppi NH_3^-) e dal pH della soluzione colorante. Non sono assorbiti dal carbonato di calcio e dal solfato di calcio, spesso presenti nella materia pittorica.

Per rivelare la presenza dell'uovo si immerge il campione in una soluzione meno acida, contenente in proporzione diverse le stesse sostanze impiegate per l'uovo: risulta efficace per rivelare le sostanze proteiche, ma lo è meno per l'uovo.

Per le sostanze oleose si è usato l'Oil Red O in soluzione in alcol isopropilico. Si colorano in rosso alcuni lipidi in fase liquida. Se i leganti grassi sono secchi si esegue la colorazione a caldo (60 C°).

PARTE I

3. IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DI LEGANTI PROTEICI E OLEOSI NELLA MATERIA PITTORICA: LO STUDIO DELLA PREPARAZIONE E DELLA BIACCA D'IMPRIMITURA

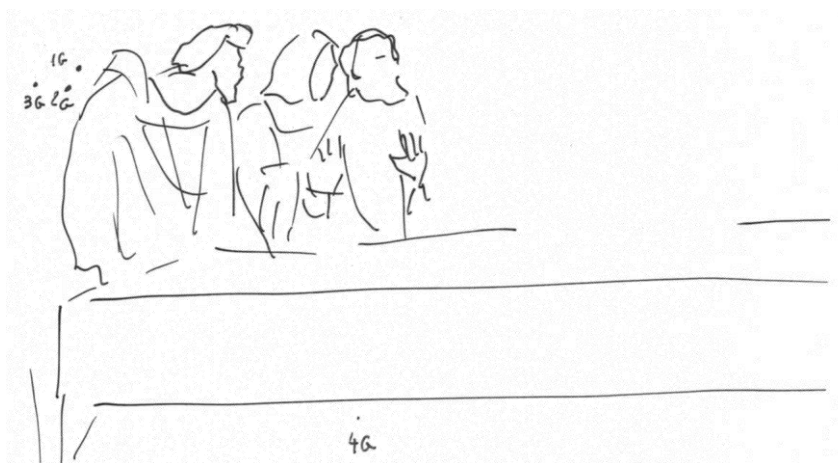
3.2 - *L'analisi dei campioni aG (1994)*

Dalla zona a sinistra di Bartolomeo e da quella al di sotto della tovaglia in corrispondenza di Andrea, si sono eseguiti quattro prelievi, da cui si sono tratti i campioni contrassegnati con la sigla:

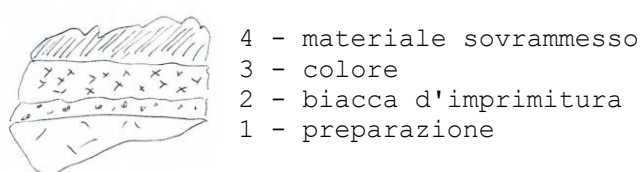
aG (a = 1, 2, 3, 4).

- 1G - nero dal fondo, a sinistra di Bartolomeo all'altezza della spalla
- 2G - nero dal fondo, a sinistra di Bartolomeo
- 3G - nero dal fondo, a sinistra del precedente
- 4G - bruno sotto S. Andrea

In Fig. 1 si riporta la mappa dei prelievi.



In Fig. 1' è schematizzata la sezione stratigrafica di un campione



3.2.1 - Determinazione dei composti inorganici

Mediante l'analisi per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica (E.P.M.A.) si è determinata la composizione della preparazione e della biacca d'imprimitura e la loro distribuzione spaziale. Nei campioni 1G e 4G si è analizzato anche il colore (v. pagine seguenti). Nei campioni 2G e 3G si sono osservate minime tracce di colore.



- 3 - colore
2 - biacca d'imprimitura
1 - preparazione

La Tabella I presenta i risultati dell'analisi della preparazione e della biacca d'imprimitura.

TABELLA I

Analisi per fluorescenza X (microsonda elettronica)

strati	elementi rivelati	sostanze identificate
2 - biacca	(Si), Ca, Pb"	biacca, carbonato di calcio, tracce di silicio
1 - prepar.	Mg, (Al), (Si), Ca"	carbonato di calcio, carbonato di magnesio, tracce di alluminio e di silicio

Rapporti Mg/Ca, Si/Ca nella preparazione.

Si sono misurati i rapporti Mg/Ca, Si/Ca per avere delle indicazioni sulle percentuali di carbonato di magnesio e di quarzo (SiO_2) relative al carbonato di calcio, componente principale della preparazione. La determinazione di tali rapporti effettuata su aree di 0.25 x 0.35 mm.

Mg/Ca: il rapporto varia tra il 6.1% e il 9.4%
Si/Ca: i valori misurati sono abbastanza vicini - dall'1.4% e 3.1% - campioni per i 2G e 3G; il rapporto è circa uguale a 0.1% per 1/GA, limite di sensibilità dello strumento. Il valore 12.6% relativo al campione 4G indica la presenza di un granulo di quarzo nell'area di misura.

I risultati ottenuti sono analoghi a quelli relativi ai campioni provenienti dalla zona destra del dipinto, riportati nella *Relazione I* (2).

La Tabella II riporta per ciascun campione i rapporti Mg/Ca, Si/Ca.

Tabella II

MEM1: Leo 1G/A PREPARAZIONE									
WINDOW LABEL	START keV	END keV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF. FACTOR	%AGE TOTAL	%AGE RATIO	
MgKa	1.10	1.42	17	817	630	1.00	8.62	9.42	
SiKa	1.58	1.90	17	723	-8	1.00	-1.11	-1.12	
CaKa	3.50	3.88	20	7678	6688	1.00	91.49	100.00	

MEM1: LEO 1G/B PREPARAZIONE									
WINDOW LABEL	START keV	END keV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF. FACTOR	%AGE TOTAL	%AGE RATIO	
MgKa	1.10	1.42	17	624	480	1.00	6.97	7.68	
SiKa	1.58	1.90	17	620	153	1.00	2.22	2.44	
CaKa	3.50	3.88	20	7114	6244	1.00	90.81	100.00	

MEM1: LEO 2G PREPARAZIONE									
WINDOW LABEL	START keV	END keV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF. FACTOR	%AGE TOTAL	%AGE RATIO	
MgKa	1.10	1.42	17	581	369	1.00	5.66	6.08	
SiKa	1.58	1.90	17	535	85	1.00	1.30	1.39	
CaKa	3.50	3.88	20	6789	6059	1.00	93.04	100.00	

MEM1: LEO 3G PREPARAZIONE									
WINDOW LABEL	START keV	END keV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF. FACTOR	%AGE TOTAL	%AGE RATIO	
MgKa	1.10	1.42	17	650	455	1.00	7.55	8.43	
SiKa	1.58	1.90	17	578	170	1.00	2.83	3.15	
CaKa	3.50	3.88	20	5912	5392	1.00	89.62	100.00	

MEM1: LEO 4G PREPARAZIONE									
WINDOW LABEL	START keV	END keV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF. FACTOR	%AGE TOTAL	%AGE RATIO	
MgKa	1.10	1.42	17	575	346	1.00	5.84	6.98	
SiKa	1.58	1.90	17	1142	624	1.00	10.53	12.59	
CaKa	3.50	3.88	20	5592	4952	1.00	83.63	100.00	

Campione 1G



- 5 - materiale bruno di restauro (130 um)
 4 - ridipintura verde (30-40 um)
 3 - nero (15-40 um)
 2 - biacca con infiltrazioni di materiale bruno (10- 15 um)
 1 - preparazione a mattonelle con crepe profonde

In Tabella I si riportano i risultati dell'analisi per fluorescenza di raggi X

TABELLA I

Analisi per fluorescenza X (microsonda elettronica) del campione 1G

strati	elementi rivelati	pigmenti identificati
5 - materiale bruno di restauro	S, Ca, K, P, Pb	biacca, caseato di calcio, solfato di calcio
4 - verde (ridipintura)	Si, Ca, K, P, Fe, Cu	verderame, biacca, giallo di piombo e stagno, caseato di calcio
3 - nero	(Si), Ca	nero vegetale
2'- (tra 2 e 3)	S, Ca, (Fe)	solfato di calcio
2 - bianco	Pb	biacca
1 - preparazione	Si, Ca ²⁺ , Mg, K	carbonato di calcio con carbonato di magnesio

(*)

(*) lo strato di nero vegetale (3) è la base della ridipintura verde (4); il materiale bruno di restauro si è infiltrato nelle crepe penetrando longitudinalmente all'interno della biacca d'imprimatura (cfr. Foto 1G e 1G')

(Si, K : impurezze)

Campione 4G

In Fig. (2) si riportano per il campione 4G gli spettri di fluorescenza X della preparazione e della biacca d'imprimitura.

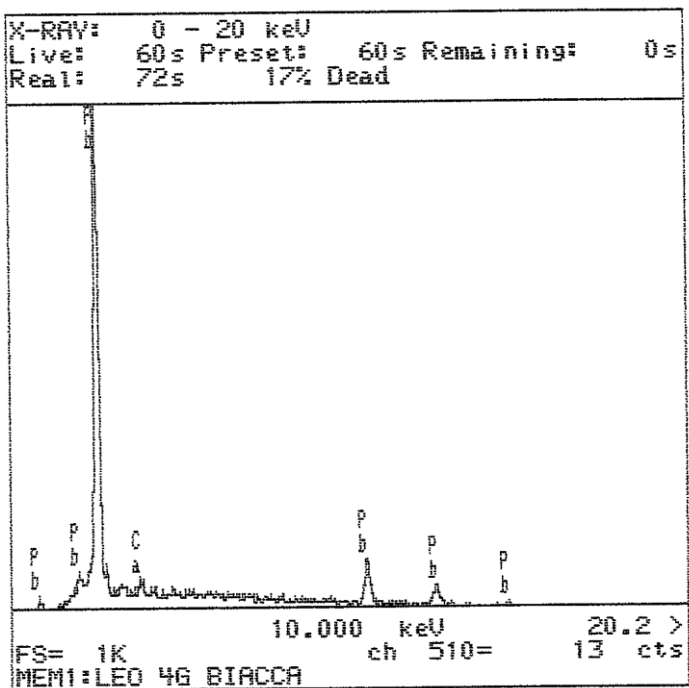
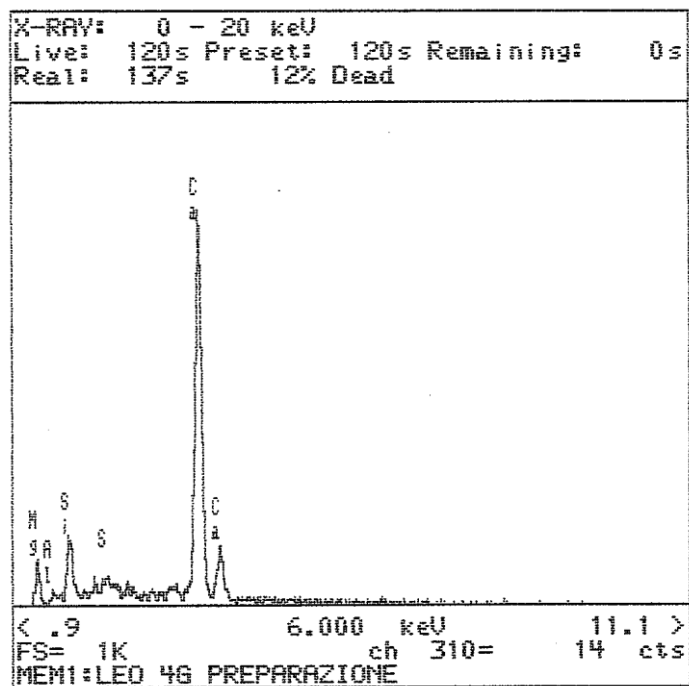


Fig. 2 - Campione G4: spettri di fluorescenza X

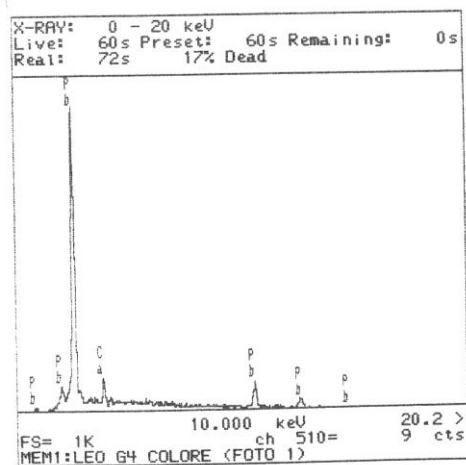
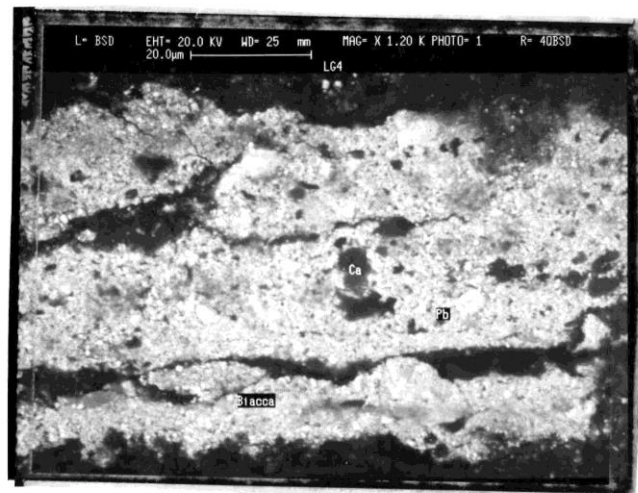
Campione 4G: colore

Lo strato di colore grigio risulta composto da due strati di biacca con particelle di nero vegetale, caseato di calcio.

Elementi rivelati: Pb, Ca, (Si), P

Nella fotografia eseguita al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) sono visibili lo strato di biacca e quelli sovrastanti, molto più spessi, di colore.

Più sotto lo spettro di fluorescenza X.



OSSERVAZIONI SUL COLORE

Verde

Lo strato verde osservato nel campione 1G è una ridipintura di verderame con particelle di giallo di piombo e stagno applicata su un fondo di nero vegetale. Il caseato di calcio (materiale di restauro) è stato identificato sia nel materiale bruno superficiale sia nello strato verde. Tracce dello stesso verde sono visibili sulla superficie del campione 2G.

Grigio

Nel campione di grigio 4G sono originali i due sottili strati di biacca e nero vegetale soprastanti la biacca d'imprimitura. Lo strato grigio-bruno superficiale, composto dagli stessi pigmenti, contiene anche caseato di calcio.

Non si è notato colore nel campione G3.

Nel campione 3G si osserva sull'imprimitura solo lo strato tardo di nero vegetale.

3.3 - Individuazione dei leganti organici

Si sono effettuate parallelamente le prove di colorazione e l'analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.)

3.2.1 - Prove di colorazione

Eseguite su microframmenti sono risultate:

- per l'uovo debolmente positive in tutti i campioni
- per la colla negative in frammenti integri
 positive in quelli con
 infiltrazioni di materiale bruno di
 restauro sovrammesso
- per l'olio parzialmente positive o dubbie

e in generale non interpretabili per il sottile strato di biacca (10-15 μm) e per il colore, quasi sempre in tracce e molto inquinato.

3.2.2 - Analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.)

Le analisi M.S.F.L. eseguite su modelli standard hanno mostrato che un legante proteico e un legante oleoso hanno spettri di fluorescenza che differiscono sia per la posizione del massimo sia per la larghezza della banda di emissione: in particolare la colla di coniglio ha un picco spostato verso il blu di circa 30 nm e una banda più stretta di quella dell'olio.

Se in un campione sono presenti entrambi i leganti la curva spettrale ha caratteristiche intermedie.

La Fig. (3) rappresenta la convoluzione di due gaussiane, la prima a tratto sottile continuo, la seconda a tratto continuo marcato. La curva somma - non più gaussiana - ha il massimo in posizione intermedia e larghezza di banda maggiore. Questo esempio dà un'idea schematica del processo di emissione di fluorescenza, in realtà molto complesso, legato alla presenza di due leganti.

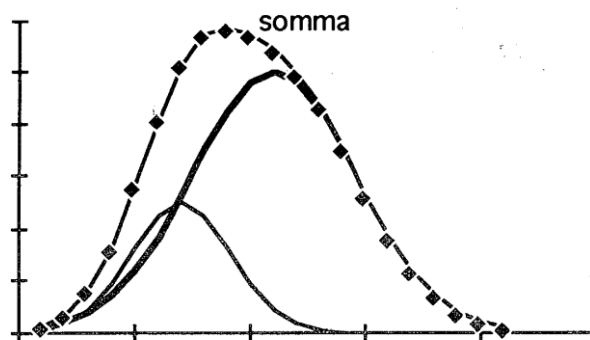


Fig. 3 - Convoluzione di due gaussiane:

----- prima gaussiana
 ----- seconda gaussiana
 - - - - - curva somma

La curva somma ha il massimo in posizione intermedia e maggiore larghezza di banda

I risultati sono riportati in dettaglio nelle *Schede*, con l'indicazione dei punti della sezione dei campioni in cui si è eseguita l'analisi e valori della lunghezza d'onda λ massima delle curve spettrali corrispondenti.

Si sono tratte le seguenti indicazioni:

preparazione

legante	λ max (nm)
colla animale (di restauro)	455 (crepe larghe)
olio (di restauro)	487/89 (crepe larghe)
uovo/colla animale + olio	473-82 nel materiale
uovo (originale)	460 nel materiale

biacca

in prossimità della preparazione	473
all'interno dello strato	468
in prossimità del colore	465

colore

punti diversi	450/458	(*)
---------------	---------	-----

 (*) leganti proteici: nei punti analizzati non è presente olio.

MODELLI STANDARD

biacca + colla di coniglio	λ max = 438-440 nm
biacca + uovo	λ max = 458-460 nm
biacca+ olio di lino	λ max = 491-493 nm

Sulla base dei risultati ottenuti si sono allestiti nuovi campioni usando il materiale residuo, e precisamente tre campioni per ciascun prelievo.

Essi sono stati contrassegnati con la sigla:

$$aG_i \quad (a = 1, 2, 3, 4) \\ (i = 1, 2, 3),$$

in tutto 12 campioni, sui quali si sono eseguite parallelamente l'analisi microspettrofluorimetrica e le prove di colorazione.

Ogni campione aG_i è stato inglobato in resina poliestere e preparato secondo le modalità già descritte.

Ciascuna sezione è stata colorata con reagenti specifici per colla, uovo e olio, levigando la sezione dopo ogni colorazione, previa fotografia.

Si è scelto di non operare su sezioni sottili (70-80 μm) per via della fragilità del materiale inglobato. La levigazione asporta uno spessore dello stesso ordine.

L'analisi M.S.F.L. è stata perciò guidata dalle indicazioni derivanti dalla colorazione, che hanno fornito un quadro esauriente della situazione.

4. RISULTATI

Dall'indagine svolta risulta quanto segue:

- *composti inorganici:*

preparazione	carbonato di calcio con carbonato di magnesio, presenza di quarzo
imprimitura	carbonato basico di piombo (biacca)

- *leganti originali:*

preparazione	uovo
biacca	probabilmente uovo (uovo + olio?)
colore originale	legante proteico non identificato

Anche l'olio è un legante originale, purtroppo non distinguibile da quello di restauro.

L'incertezza sulla biacca, stesa in uno strato molto sottile (10-15 μm), è dovuta all'elevato da inquinamento oli di restauro.

Per quanto riguarda il colore, per avere dati affidabili l'indagine andrebbe estesa a campioni certi (*).

- *materiali organici di restauro:*

date le condizioni di degrado della superficie del dipinto, ben documentate dalla Foto 2 in cui sono visibili sollevamenti a scodella, crepe, fenditure, lacune, i materiali di restauro sono penetrati all'interno della pellicola pittorica inquinandola. I materiali identificati (praticamente puri nelle fenditure ampie) sono di due tipi:

- *materiali proteici:* poco fluidi, localizzati lungo la superficie della preparazione (colla animale, caseato di calcio)

- *materiali oleosi:* molto fluidi, con capacità di diffusione elevata. Sono presenti in ampie zone, anche profonde, della preparazione.

Nelle zone integre delle sezioni trasversali dei campioni tali materiali sono stati rivelati in mescolanza con i leganti originali, in proporzioni diverse a seconda della zona analizzata da essi più a meno inquinata (**).

FOTO 2

Foto 2. Macrofotografia della superficie del dipinto che ne mostra il degrado (Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici - Milano - 81520/E)

(*) Per avere conferma di questo risultato sono stati analizzati con la tecnica M.S.F.L. alcuni campioni prelevati in precedenza (1982) dalla zona di destra del dipinto e preparati per inglobamento in resina per le indagini allora effettuate - tovaglia, manti di Simone, Matteo, Giacomo Maggiore - l'analisi ha indicato zone non inquinate, in cui è manifesta la presenza di leganti proteici originali; in altre si sono rivelate anche sostanze oleose di restauro.
Nella Parte II si riportano in dettaglio i risultati delle analisi.

(**) Dei quattro campioni analizzati, solo il 4G aveva due strati di colore grigio, il più profondo originale, sovrastanti l'imprimatura di biacca. Le analisi eseguite in seguito su altri campioni di colore, presi da punti anche molto lontani fra loro, hanno indicato la presenza, nel colore originale, di leganti proteici a volte uniti a olio; in alcuni casi negli spettri di fluorescenza X alla microsonda elettronica è comparso il picco del fosforo, non attribuibile al caseato di calcio assente negli strati di restauro soprastanti quello in esame.
Si potrebbe avanzare l'ipotesi che in questi casi sia stato impiegato più di un legante proteico, forse un derivato del latte oltre all'uovo. Il contenuto in fosforo dell'uovo è inferiore alla soglia di rivelazione dello strumento.

5. CONCLUSIONE

Nei campioni in esame l'inquinamento da materiali proteici (colla animale) appare confinato principalmente alle zone sottostanti il colore. Le sostanze oleose tarde si sono diffuse fino alle regioni più profonde della preparazione, mescolandosi ai leganti originali in proporzioni diverse a seconda dell'entità dell'inquinamento (*).

(*) Presso il Centro di studio per l'Istochimica C.N.R. di Pavia è stato recentemente messo a punto e applicato un programma di elaborazione dati per la deconvoluzione degli spettri di fluorescenza UV-visibile di complessi enzimi-cellule, che permette di isolare i contributi e di determinare l'abbondanza di ciascun componente nella zona esaminata. È allo studio attualmente, a cura di Giovanni Bottiroli, una variante di tale programma da applicare agli spettri di fluorescenza U.V./visibile da noi ottenuti nel presente studio: dalla deconvoluzione delle curve spettrali dovute alla presenza di due o più leganti nell'area della pellicola pittorica analizzata (spettri-somma) sarà possibile ottenere l'individuazione e l'entità delle singole sostanze.

SCHEDE DEI CAMPIONI

1G, 2G, 3G, 4G

Campione 1G

Le fotografie a) e b) mostrano la sezione del campione a due ingrandimenti.

- 5 - materiale bruno di restauro
- 4 - ridipintura verde
- 3 - materiale bruno infiltrato
- 2 - biacca d'imprimitura con infiltrazioni brune
- 1 - preparazione spessa

Nella spessa preparazione si osservano delle fenditure orizzontali, oblique e verticali, di cui una molto larga e profonda.

L'analisi MSFL è stata eseguita in alcuni punti della sezione, in corrispondenza dei quali è stata riportata sulla foto la lunghezza d'onda di picco λ max delle curve spettrali:

preparazione	λ max = 477 nm *
biacca:	λ max = 473 nm
crepa	λ max = 455 nm

con distanze relative:

D1 (preparazione-biacca)	= 4 nm
D2 (biacca-crepa)	= 17 nm
D3 (preparazione-crepa)	= 24 nm

Secondo le prove eseguite sui modelli standard si può attribuire a colla animale il valore

λ max = 455 nm misurato all'interno della crepa.

I valori di picco degli spettri relativi alla preparazione e alla biacca differiscono tra loro di 4 nm e risultano spostati verso la regione dell'olio (λ max \geq 491 nm) **

Sulla base di quanto esposto 2.1.2, si ritiene che nelle zone analizzate siano presenti, in proporzioni leggermente diverse, sia un legante proteico sia un legante oleoso.

Si riportano gli spettri di fluorescenza U.V.- visibile.

* Si sono analizzati tre punti distanti fra loro: le curve risultano sovrapponibili

** - campione standard olio λ max 491 nm
 - Tiziano: λ max 493 nm
 - Pittore olandese (XVI sec.) λ max 491 nm

Campione 2G

Le fotografie a) e b) mostrano la sezione del campione a due ingrandimenti.

- 5 - materiale bruno di restauro
- 4 - ridipintura verde
- 3 - materiale bruno infiltrato
- 2 - biacca d'imprimatura con infiltrazioni brune
- 1 - preparazione spessa

Nella preparazione si osservano due zone di colore diverso, la più scura al centro.

In ciascuna zona si sono analizzati due punti, in corrispondenza dei quali è stata riportata sulla foto la lunghezza d'onda di picco λ max delle curve spettrali:

preparazione (zona scura)	max = 474 nm *
preparazione (zona chiara)	max = 481/82 nm *

Nelle due zone sono presenti entrambi i leganti; la zona chiara contiene più olio di quella scura.

Si riportano gli spettri di fluorescenza U.V.- visibile

* Si sono analizzati tre punti distanti fra loro: le curve risultano sovrapponibili

Campione 3G

Le fotografie a) e b) mostrano la sezione del campione a due ingrandimenti.

- 3 - materiale bruno di restauro
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione spessa

Nella preparazione si osservano numerose crepe. La zona in basso a destra, all'incrocio di due crepe, ha colore più scuro della regione circostante.

Sono stati analizzati due punti lontani dalle crepe e un punto all'incrocio di due di esse, in corrispondenza dei quali è stata riportata sulla foto la lunghezza d'onda di picco λ_{\max} delle curve spettrali

preparazione (zona chiara)	$\lambda_{\max} = 478 \text{ nm}$
preparazione (incrocio)	$\lambda_{\max} = 489 \text{ nm}$

La zona chiara contiene entrambi i leganti proteico e oleoso. Nell'incrocio è presente solo l'olio che, penetrato dalla superficie del campione, ha colmato la lacuna formatasi nella preparazione.

Si riportano gli spettri di fluorescenza U.V.-visibile

Campione 4G

Le fotografie a) e b) mostrano la sezione del campione a due ingrandimenti.

- 4 - materiale bruno di restauro
- 3 - colore grigio: biacca + nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

L'analisi si è eseguita in alcuni punti della preparazione e della biacca e in uno del colore, in corrispondenza dei quali si è riportata sulla foto la lunghezza d'onda di picco λ max delle curve spettrali.

Preparazione

Nella preparazione si osservano numerose crepe in prevalenza verticali, di cui una ha interessato anche il colore. Sono stati analizzati due punti lontani fra loro in zone lontane dalle crepe e un punto nella crepa obliqua a destra:

preparazione (tre punti)	λ max = 477 nm
crepa obliqua	λ max = 487 nm

Nella preparazione si ritrovano i valori ottenuti in punti analoghi dei campioni precedenti, che indicano la presenza sia di un legante proteico sia di uno oleoso. Nella crepa l'olio risulta prevalente.

Biacca

Si è analizzata la biacca, il cui spessore è di 10-15 μ m, in tre punti con i seguenti risultati:

- vicino al colore	λ max = 465 nm
- al centro dello strato	λ max = 468 nm
- vicino alla preparazione	λ max = 473 nm

Colore

Per il colore si è ottenuto, in due punti della stesura il valore:

punto in prossimità della crepa	λ max = 450 nm
altro punto	λ max = 458 nm

Si riportano gli spettri di fluorescenza U.V.

6. PROVE DI COLORAZIONE E ANALISI MICROSPETTROFLUORIMETRICA

Si indicano schematicamente le operazioni eseguite sui campioni 1G, 2G, 3G e 4G per determinare la natura dei leganti organici mediante le tecniche incrociate:

- prove di colorazione con leganti specifici per colla animale, uovo e olio
- analisi microspettrofluorometrica

Tali tecniche sono state illustrate nella Parte I, Sez. 2.

1. Prelievi di partenza: aG ($a = 1, 2, 3, 4$)

- suddivisione di ciascuno in 3 frammenti: aG_i ($i = 1, 2, 3$)

- colorazione di ogni aG_i per colla, uovo, olio: aG_i^k ($i = 1, 2, 3$)

- fotografie al microscopio delle sezioni degli aG_i^k

- scelta dei campioni da analizzare con tecniche microspettrofluorimetriche (M.S.F.L.)

campioni scelti

1G₃

2G₂

3G₃

4G₁

Ogni campione aG_i è stato inglobato in resina, sezionato trasversalmente e levigato.

La superficie ottenuta è stata colorata successivamente per **colla animale, uovo e olio** e fotografata al microscopio ottico, asportando dopo ogni colorazione alcune decine di micrometri per togliere le tracce della colorazione precedente.

7. RISULTATI

Il legante originale della preparazione è molto probabilmente uovo.

Nei campioni analizzati, provenienti da una zona molto restaurata (fissaggi, protettivi, risarcimenti) non si è individuato alcun punto che non fosse inquinato dai materiali applicati sulla superficie. Le sostanze oleose, per le loro caratteristiche di fluidità, si sono diffuse in tutta la preparazione con concentrazioni variabili, più elevate in corrispondenza di crepe e fenditure. Le sostanze proteiche (colle animali) sembrano confinate nelle zone sottostanti il colore e nelle crepe.

I risultati dell'analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.) sono riportati nella Tabella III.

TABELLA III

Analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.)			(λ max in nm)		
campione	punto	colla animale	uovo	uovo/colla animale + olio	olio
1G ₃					
prepar.	1			473	
prepar.	2			472	
2G ₂					
prepar.	1			476	
prepar.	2			476	
prep.	3		460		
crepa a)	4				486
crepa b)	5				490
3G ₃					
prepar.	1			473	
biacca	2		462		
biacca	2		460		
4G ₁					
prepar.	1			472	
prepar.	1			470	
prepar.	3				482
prepar.	4			470	
crepa	5				480
crepa	6				480
fuori crepa	7		466		
colore	8	437; 462 (*)			
colore	8	441; 462 (*)			
interno biacca	9			465-80(*)	

(*) nello spettro si osservano due massimi

SCHEDE DEI CAMPIONI

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 1G1

- 5 - strato bruno tardo: biacca, caseato di calcio, solfato di calcio
 4 - ridipintura di verderame, giallo di piombo e stagno poca biacca
 3 - nero vegetale di base al verde
 2 - biacca d'imprimatura
 3 - preparazione

1G ₁ ¹	1G ₁ ²	1G ₁ ³
colla animale	uovo	olio
<u>Foto</u>	<u>Foto</u>	<u>Foto</u>
Si colorano: la zona a sinistra (nella ridipintura) e quella sottostante a sinistra	Si colora abbastanza; più intensa la zona sinistra	Si colorano: lo strato superficiale del bruno 5, con piccole masse globulari rigonfiate - il materiale nella frattura - la preparazione: sotto la biacca, parzialmente la zona a sinistra della frattura, uniformemente quella a destra - la biacca d'imprimatura non si colora

Foto 1G₁¹Foto 1G₁²Foto 1G₁³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 1G₂

1 - preparazione

1G ₂ ²	1G ₂ ³	1G ₂ ¹
colla animale	uovo	olio
<u>Foto</u>	<u>Foto</u>	<u>Foto</u>
Colorazione molto debole al margine sinistro delle zone sinistra e centrale	Colorazione abbastanza intensa e uniforme. Si colora di più la zona a destra	Colorazione debole nella zona inferiore a sinistra, uniforme altrove, intensa nelle crepe

Foto 1G₂¹

Foto 1G₂²

Foto 1G₂³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 1G₃3 - materiale bruno di restauro e di nero vegetale (tracce) (cfr. 1G₁)

2 - biacca d'imprimitura (impoverita, discontinua)

1 - preparazione

1G ₃ ¹	1G ₃ ²	1G ₃ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
Debole colorazione ai margini	Colorazione molto intensa. Linee bianche lungo le crepe: fenditure?	Si colorano le ridipinture con qualche puntino più intenso
	Oss. Solo preparazione. Tracce di materiale bruno tardo in superficie	Oss. Nella zona a destra in basso tracce di materiale bruno

Foto 1G₃¹ A - (a sinistra)
 B - (a destra)

Foto 1G₃² (a sinistra)

Foto 1G₃³ A - (a sinistra)
 B - (a destra)

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 2G₁

2 - biacca d'imprimitura
1 - preparazione

2G ₁ ¹	2G ₁ ²	2G ₁ ³
colla animale	uovo	olio
<u>Foto</u>	<u>Foto</u>	<u>Foto</u>
Debole colorazione in superficie e nella preparazione	colorazione abbastanza uniforme	Colorazione nella zona superiore, in quella inferiore e nelle crepe

Foto 2G₁¹

Foto 2G₁²

Foto 2G₁³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 2G₂

1 - preparazione

2G ₂ ¹	2G ₂ ²	2G ₂ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
Si colora in superficie e nelle crepe	Colorazione abbastanza uniforme e intensa	Si colorano intensamente la zona superiore, meno la zona sottostante, non si colora quella inferiore dal centro a destra

Foto 2G₂¹

Foto 2G₂²

Foto 2G₂³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 2G₃

- 3 - tracce di materiale bruno di restauro
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

2G ₃ ¹	2G ₃ ²	2G ₃ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
Debole colorazione nelle crepe	colorazione diffusa e intensa	Si colorano le crepe le zone segnate

Foto 2G₃¹

Foto 2G₃²

Foto 2G₃³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 3G₁

- 3 - tracce di nero vegetale (ridipintura)
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione con crepe

3G ₁ ¹	3G ₁ ²	3G ₁ ³
colla animale	uovo	olio

Oss. Le crepe a destra sono più scure del materiale circostante.
Tracce di colore in superficie (forse originale).

Foto	Foto	Foto
Si colora sotto il colore. Forse anche la biacca	La preparazione si colora	Si colorano le crepe, la biacca no. Debole colorazione sotto la biacca

Foto 3G₁¹

Foto 3G₁²

Foto 3G₁³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 3G₂

1 - preparazione

3G ₂ ¹	3G ₂ ²	3G ₂ ³
colla animale	uovo	olio
<u>Foto</u>	<u>Foto</u>	<u>Foto</u>
Colorazione molto debole ai margini	Colorazione con zone più intense	Colorazione nelle crepe con qualche sferula

Foto 3G₂¹

Foto 3G₂²

Foto 3G₂³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 3G₃

2 - biacca d'imprimitura
1 - preparazione

3G ₃ ¹	3G ₃ ²	3G ₃ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
Si colora il margine superiore	Colorazione abbastanza uniforme nella zona mediana, più intensa nella parte inferiore. Non si colora la zona superficiale	Si colora soltanto lungo le crepe. Qualche puntino rosso nella biacca. OSS. Le crepe attraversano la biacca

Foto 3G₃¹

Foto 3G₃²

Foto 3G₃³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 4G₁

4 - grigio-bruno: nero vegetale e biacca, caseato di calcio (ridipintura)

3' - biacca + nero vegetale (colore originale)

3 - idem

2 - biacca d'imprimitura

1 - preparazione

4G ₁ ¹	4G ₁ ²	4G ₁ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
La colla animale è penetrata dalla superficie. Si sono colorate: le crepe, la biacca e le zone sotto la biacca. Il colore no.	Si sono colorate la zona superiore e l'inferiore	Si sono colorate la superficie, la biacca d'imprimitura e la zona mediana. Del colore solo la ridipintura superficiale

Foto 4G₁¹

Foto 4G₁²

Foto 4G₁³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 4G₂

- 4 - grigio-bruno (ridipintura): nero vegetale e biacca con caseato di calcio
- 3 - grigio (originale): nero vegetale e biacca
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

4G ₂ ¹	4G ₂ ²	4G ₂ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
Colla animale nelle crepe	Si colora la zona della preparazione	Si colora molto sotto la biacca, come pure la zona superiore della preparazione e quella di destra. Si colora lo strato 4 (ridipintura)

Foto 4G₂¹

Foto 4G₂²

Foto 4G₂³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 4G₃

4 - grigio-bruno (ridipintura): nero vegetale e biacca con caseato di calcio

3 - grigio (originale): nero vegetale e biacca

2 - biacca d'imprimitura

1 - preparazione

4G ₃ ¹	4G ₃ ²	4G ₃ ³
colla animale	uovo	olio
Foto	Foto	Foto
Si colorano: la zona sottostante il colore e le crepe	Si colora più intensamente la zona inferiore	Olio nelle crepe e lungo il margine destro. Globuli più intensi nella biacca e nel colore (con rigonfiamento del materiale)

Foto 4G₃¹

Foto 4G₃²

Foto 4G₃³

(ingrandimento al microscopio: 40 x)

PARTE II

8. L'ESAME DEL COLORE: PREMESSA

La Parte I ha riguardato lo studio della preparazione e della biacca d'imprimitura, con particolare riguardo all'identificazione dei leganti organici originali e di restauro, applicando una metodologia analitica messa a punto a tale scopo ed esposta in dettaglio nella Parte I, sezione 2. I campioni esaminati, presi prima del restauro provenivano da zone nell'intorno di Bartolomeo e di Andrea.

Poiché, in alcuni dei campioni analizzati si erano osservate tracce del colore originale, frammentato e imprigionato fra strati di materiali di restauro o ricoperto da ridipinture spesso grossolane, tuttavia ben riconoscibile per la qualità della materia pittorica e la finezza delle stesure di colore, è sembrato opportuno proseguire l'indagine, analizzando altri campioni in cui si pensava di ritrovare la cromia originale sotto le ridipinture ancora in vista.

I risultati ottenuti nella prima fase del lavoro erano apparsi incoraggianti; pertanto, non è sembrato necessario prendere in considerazione ulteriori tecniche di analisi, da impiegarsi qualora si volessero chiarire particolari aspetti messi in luce dallo studio eseguito.

I nuovi campioni sono stati prelevati nel 1996 in punti situati alla destra del Cristo, indicati nella mappa dei prelievi (Fig. 5):

ELENCO DEI CAMPIONI (1996)

- 5G - preparazione, imprimitura, colore grigio originale, ridipintura grigio-bruna traslucida (tovaglia)
- 6G - preparazione, imprimitura, ridipintura verde (veste di Andrea)
- 7G - preparazione, imprimitura, colore originale, ridipintura grigio-bruna (pavimento)
- 8G - preparazione, imprimitura, colore originale, ridipintura verde-bruna (pavimento/fascia)
- 9G - preparazione, imprimitura, colore originale, ridipintura verde-grigiastria (manto di Bartolomeo)
- 10G - preparazione, imprimitura, colore verde originale (manto di Bartolomeo)

I risultati delle analisi sono stati confrontati con quelli relativi a quattro campioni presi nel 1982, all'inizio dei lavori di restauro, in zone in cui il colore appariva ben conservato: dal motivo blu della tovaglia e dai manti di Simone, Matteo e Giacomo Maggiore.

8.1 METODI DI ANALISI

Le tecniche analitiche impiegate sono state descritte nella Parte I, sezione 2, a cui si rimanda.

9. RISULTATI

9.1 Sono stati analizzati campioni contenenti strati di colore originali e di ridipintura, sulla cui superficie si sono osservati materiali di restauro e di consolidamento, spesso penetrati negli strati sottostanti attraverso le discontinuità della pellicola pittorica.

La *Tabella IV* riporta i risultati riguardanti l'identificazione delle sostanze inorganiche, ottenuta mediante l'analisi stratigrafica per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica e l'osservazione al microscopio ottico e da mineralogia.

La *Tabella V* si riferisce alle sostanze organiche - proteiche e oleose - individuate nei vari strati della materia pittorica mediante tecniche di analisi microspettrofluorimetrica con sorgente U.V. eseguite sulle sezioni dei campioni.

Fig. 6 si riportano gli spettri di fluorescenza U.V./visibile di colla animale, uovo e olio (reference standars) e di colla animale, uovo, uovo + olio e olio (campioni dall'*Ultima Cena*). Ricordiamo che le curve spettrali (intensità della radiazione di fluorescenza in funzione della lunghezza d'onda) presentano caratteristiche diverse - lunghezza d'onda di picco λ_{max} e larghezza di banda - per i vari tipi di leganti proteici, quali la colla animale e l'uovo, e per le sostanze oleose

- per la colla animale λ_{max} è spostata verso il blu di circa 30 nm rispetto a quella relativa all'olio e la banda è più stretta
- per l'uovo λ_{max} è spostata di circa 5 nm a destra rispetto alla colla animale
- se sono presenti sia un legante proteico (colla animale, uovo) sia un legante oleoso, si ha per la curva spettrale un andamento intermedio, la cui entità dipende dai rapporti reciproci dei due componenti, con spostamento del picco più pronunciato verso le lunghezze d'onda maggiori se è presente l'uovo (v. *Fig. 6 b*): curva *uovo + olio*).

Le curve spettrali relative a leganti proteici non sono simmetriche, mostrando una salita ripida e allargandosi nella discesa verso le lunghezze d'onda maggiori. Per le sostanze oleose le curve risultano simmetriche. (Fig.)

Fig. ... - Spettri di fluorescenza U.V.-visibile:
a) colla animale
b) uovo
c) olio

Sulle sezioni dei campioni sono state eseguite anche prove di colorazione con reagenti specifici per colla animale, uovo e olio (cfr. Parte I, sezione 2.1.2).

Le fotografie al microscopio ottico delle sezioni mostrano la distribuzione dei vari leganti nella materia pittorica: reagenti diversi colorano selettivamente le zone in cui sono presenti la colla animale (colorazione blu), l'uovo (colorazione blu), l'olio (colorazione rossa). Le fotografie brevemente commentate sono riportate nelle schede "Prove di colorazione".

Le tecniche analitiche impiegate hanno consentito di verificare la loro concordanza e di scegliere, a seconda dei casi, quella più adatta al tipo di campione in esame.

Si allegano gli spettri di fluorescenza U.V. / visibile corrispondenti.

I pigmenti originali identificati sono:

- biacca + nero vegetale per il grigio
- biacca, ocre e nero vegetale per il bruno rosato
- resinato di rame (12) e biacca per il verde, unito anche a particelle di ocra gialla e giallo di piombo e stagno (13)

Nelle ridipinture sono stati identificati i pigmenti: verderame, ocra rossa, ocra gialla, giallo di piombo e stagno, nero vegetale, biacca, carbonato di calcio

Nei campioni analizzati si ritrova la situazione già osservata in precedenza e descritta nella Parte I, relativa ai campioni 1G, 2G, 3G e 4G:

- *preparazione*: il legante originale è uovo. In alcune zone al confine con gli strati soprastanti è stata rivelata anche la colla animale impiegata nei restauri come fissativo. L'olio contenuto nei materiali tardi sovrapposti si è diffuso quasi ovunque, infiltratosi nelle fessurazioni e le discontinuità della pellicola pittorica

- *imprimitura*: nello strato di biacca d'imprimitura sono stati individuati leganti proteici - uovo, colla animale di restauro o entrambi - e leganti oleosi quasi onnipresenti.

Solo in pochissimi casi si è rivelata la presenza del solo uovo. Mentre la colla animale è riferibile a interventi tardi, per l'olio vi è ambiguità. Oltre all'olio di restauro, si potrebbe infatti ipotizzare un legante originale proteico-oleoso (uovo-olio siccativo), impiegato al fine di ottenere uno strato d'impermeabilizzazione tra preparazione e colore

- *colore originale*: nei campioni analizzati le analisi hanno rivelato la presenza di un legante proteico o forse due - uovo e probabilmente un altro legante proteico non identificato a volte dominante - e di olio siccativo.

TABELLA IV

Analisi per fluorescenza X (microsonda elettronica)

campioni	elementi rivelati	pigmenti identificati
5G - preparazione + imprimitura, colore grigio originale, ridipintura grigi-bruna traslucida (tovaglia)		
6 - grigio-bruno traslucido	Ca, Pb	carb. di calcio, biacca
5 - grigio	Pb	biacca, nero vegetale
4 - grigio	Pb	biacca, nero vegetale
3 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
2 - preparazione	Ca, Mg	carb. di calcio + carb. di magnesio
1 - grigio infiltrato	Si, Ca, Pb	carb. di calcio, biacca, part. nere
6G - preparazione, imprimitura, ridipintura verde (veste di Andrea)		
5 - verde	Ca, K, Pb, Fe, Cu"	verderame, biacca, ocra rossa e gialla, carb. di calcio
4 - grigio scuro	Ca, (Fe)	carb. di calcio, nero vegetale, ocra rossa
3 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
2 - preparazione	Ca, Mg	carb. di calcio, carb. di magnesio
1 - matereriale grigio inviltrato (v. strato 4)		
7G - preparazione, imprimitura, colore rosato originale, ridipintura grigio-bruna (pavimento)		
5 - grigio-bruno	Ca, Pb, Fe, P	biacca, caseato di calcio(*), ocra rossa, nero vegetale
4 - grigio sottile	(Ca), Pb	biacca, nero vegetale
3 - bruno-rosato	Si, (Ca), Pb, Fe	biacca, ocra rossa, nero vegetale
2 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	Ca, Mg	carb. di calcio, carb. di magnesio
8G - preparazione, imprimitura, colore rosato originale, ridipintura verde-bruna traslucida (pavimento/fascia)		
verde-bruno trasl. con particelle gialle	Si, K, Al, Cu, Fe,	verderame, ocra gialla
3'- rosato	Pb, (Fe)	biacca, ocra rossa e gialla, nero vegetale
3 - rosato	Pb, (Fe)	biacca, ocra rossa e gialla, nero vegetale
2 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	Ca, Mg	carb. di calcio, carb. di magnesio
9G - preparazione, imprimitura, colore verde originale + ridipintura grigiastrea (manto di Bartolomeo)		
5'- grigiastro	Si, Ca, Fe	carb. di calcio, ocra rossa, nero vegetale
5 - verde con part. gialle	Si, Pb, Fe	verderame con particelle di ocra gialla, biacca
4 - grigio scuro	Si, Ca, Fe	carb. di calcio, ocra rossa, nero vegetal
3 - verde	(Si), Pb, Cu"	resinato rame, biacca
2 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	Ca, Mg	carb. di calcio, carb. di magnesio
10G - preparazione, imprimitura, colore verde originale (manto di Bartolomeo)		
3 - verde	(Si), Pb, Cu"	resinato rame, biacca
2 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	Ca, Mg	carb. di calcio, carb. di magnesio

Il simbolo () indica presenza in tracce

* Il fosforo indica presenza di caseato di calcio. Il caseato di calcio è stato evidenziato anche con altre analisi (v. Tab. II)

TABELLA V

Analisi microspettrofluorometrica (λ eccitazione: 366 nm)

Stuccature e ridipinture

campione	COMPOSTI INORGANICI	CAMPIONE/STRATO	max	LEGANTE
grigio-bruno traslucido	carb. di calcio, nero vegetale, biacca	5G6	440	colla animale
grigio	carb. di calcio, nero vegetale, ocra rossa	9G5	439	colla animale
grigio scuro	carb. di calcio, nero vegetale, ocra rossa	6G1	443-449; (472) (*)	colla animale, olio
grigio scuro	carb. di calcio, nero veg., ocra rossa	9G4	(435), (447), 468	colla animale, olio infiltrato
grigio-bruno	biacca, caseato di calcio, ocra rossa	7G5	440	caseato di calcio
verde	verderame, biacca, ocra rossa/gialla, carb. di calcio	6G5	440-465	colla animale, olio
verde	verderame, ocra gialla	8G4	440-465	colla animale, olio

Strati originali

grigio	biacca, nero vegetale	5G4	448-455	uovo, olio
grigio	biacca, nero vegetale	5G5	442-448-465	uovo + olio
grigio	biacca, nero vegetale	7G4	(v. 5G5)	uovo, olio
rosato	biacca, ocra rossa, nero vegetale	7G3	(v. 5G3)	uovo, olio
rosato	biacca, ocra rossa e gialla, nero vegetale	8G3	437-450-458	uovo, olio
verde	biacca, resinato di rame	9G3	(v. 10 G3)	uovo, olio
verde	biacca, resinato di rame	10 G3	442-455	

(*) pianerottolo: nella zona del massimo la curva presenta più picchi successivi che indicano la presenza di leganti della stessa natura (in questo caso proteici) ma di tipo diverso

Il simbolo () indica un picco minore.

9.2. *Campioni 1982*

Sono stati analizzati i campioni:

- 1 - preparazione, biacca d'imprimitura, colore blu originale (tovaglia)
- 2 - preparazione, biacca d'imprimitura, colore rosa originale (manto di Simone)
- 3 - preparazione, biacca d'imprimitura, colore blu originale (manica del manto di Matteo)
- 4 - preparazione, biacca d'imprimitura, colore verde originale (manto di Giacomo Maggiore)

I risultati dell'analisi M.S.F.L sono riportati nella *Tabella VI*: oltre alla lunghezza d'onda di picco, è indicata la larghezza a metà altezza della curva spettrale, parametri che caratterizzano le sostanze fluorescenti contenute nel campione. La *Fig. 7* rappresenta, sovrapposti, gli spettri di fluorescenza U.V./visibile per preparazione, imprimitura colore.

Preparazione

Le curve dei campioni nn. 1 e 2 (tovaglia, Simone) hanno andamento abbastanza vicino, con il massimo nella regione dell'uovo legante originale).

Leggermente spostata è quella del n. 4 (Giacomo Maggiore), con un valore di picco di 475 nm (uovo + olio di restauro). Per il campione n. 3 (Matteo) la curva è decisamente spostata verso le lunghezze d'onda più alte e con un pianerottolo di 14 nm circa: il legante è uovo unito a sostanze oleose di restauro - più d'una - in misura maggiore che nel campione precedente.

Imprimitura di biacca.

Le curve spettrali indicano la presenza di un legante proteico (uovo) unito a poco olio (picco a 470 nm) per i primi tre campioni. Nel caso di Giacomo Maggiore nell'imprimitura l'olio è assente.

Colore originale

Per la preparazione e per l'imprimitura di biacca le curve hanno un picco definito, nel caso del colore si osserva un pianerottolo, situato nella regione delle sostanze proteiche, la cui ampiezza varia da 10 nm (tovaglia, Simone) a 14 (Giacomo Maggiore) fino ai 20 nm (nm); se ne deduce che il colore contiene uovo (460-65 nm) e un altro (o altri?) legante

proteico a cui corrispondono i picchi a lunghezze d'onda inferiori (440, 450). Le tracce di fosforo rivelate in alcuni casi nel colore originale, non attribuibili all'uovo, perché, il suo contenuto in fosforo è al di sotto della soglia di sensibilità strumentale, farebbero ipotizzare un derivato del latte.

Le curve spettrali sono strette: 96-106 nm, valori caratteristici dei leganti proteici.

Non c'è olio nel colore.

L'esame delle curve spettrali dei campioni 1996, relative al colore originale, rivela una situazione analoga: pianerottoli di ampiezza analoga (8-23 nm) e larghezza di banda simili (97-107 nm), assenza di olio.

Da quanto sopra esposto risulta che nella preparazione e nella biacca dei campioni 1982 l'inquinamento da materiali oleosi di restauro appare meno pronunciato di quello riscontrato nei campioni provenienti dalle zone alla destra del Cristo; il colore originale mostra analogie e concordanze.

TABELLA VI

analisi microspettrofluorimetrica - λ max (nm) / larghezza di banda (nm)

<i>campioni (1982)</i>	<i>preparazione</i>	<i>imprimitura</i>	<i>colore</i>	
1 - blu tovaglia	468 / (132)	470 / (130)	blu	450-60 / (93)
2 - rosso manto Simone	464 / (123)	473 / (120)	bianco lacca rossa 602	438-458* / (102)
3 - blu manica Matteo	468-492* / (138)	471	blu	450-464* / (106)
4 - verde abito Giacomo Maggiore	475 / (118)	458-60	verde	440-450* / (99)

* la curva non presenta un picco, ma un pianerottolo che ha per estremi i valori indicati

da cui:

preparazione:	462-65	uovo
	469-78	uovo + olio
biacca:	460	uovo
	470-73	uovo + olio
colore:	legante proteico	(uovo + ?)

10. CONCLUSIONI

Le indagini svolte hanno messo in evidenza solo alcuni aspetti riguardanti la natura dei leganti. Tuttavia si può ragionevolmente concludere che le tecniche analitiche, non distruttive per i campioni, impiegate nello studio della materia pittorica del dipinto leonardesco, hanno fornito indicazioni utili all'impiego di metodologie più avanzate e mirate, così da uscire in certi casi, se possibile, dal campo delle congetture.

Per quanto riguarda le sostanze oleose, possiamo osservare come conclusione che le tecniche analitiche impiegate nel presente studio hanno consentito di rivelarne la presenza e la distribuzione spaziale, ma non di identificare il tipo di olio (ad es. di lino o di noce).

D'altra parte, data la particolare struttura del materiale prelevato - strati originali molto sottili spesso inframezzati a colore posteriore - e mancando inoltre un preciso riferimento al colore originale non inquinato da sostanze di restauro, la gas-cromatografia potrebbe non dare una risposta risolutiva ai seguenti quesiti che:

- dato che l'olio di lino è stato certamente usato per il restauro, l'olio di noce eventualmente rivelato sarebbe un legante originale o non piuttosto farebbe parte anche dei materiali posteriori?
- è il colore originale solo a tempera o contiene anche sostanze oleose, e in quali elementi figurativi (incarnati, figure, sfondi, tovaglia, ecc.)?

Un ultimo studio analitico da condursi con tecniche gas-cromatografiche - affiancate da quelle sopra illustrate - su una piccola quantità di materia pittorica, scelta in modo opportuno, potrebbe rispondere almeno in parte ai quesiti sorti nel corso delle nostre indagini.

Inoltre un'accurata rassegna dei risultati di tutte le analisi eseguite ricercatori dagli inizi dell'attuale restauro ad oggi, aiuterebbe a chiarire alcuni aspetti rimasti oscuri, come è apparso dal confronto, pur limitato, tra campioni di colore provenienti da zone del dipinto molto lontane tra loro.

Ringraziamenti

Ringrazio Giovanni Bottiroli per la preziosa e proficua collaborazione nel lavoro di analisi microspettrofluorimetriche. Ringrazio l'Istituto Centrale per il Restauro per l'incarico affidatomi, che mi ha permesso una così lunga frequentazione dell'opera di Leonardo, e non solo dal punto di vista microscopico, come è raro che avvenga (diceva Fermi "...ho lavorato per tanti anni coi neutroni che li considero un po' miei parenti"), e in particolare Maurizio Marabelli per gli utili consigli e gli importanti suggerimenti.

Ringrazio anche gli studenti di Architettura, frequentatori di un mio seminario, che si sono avvicendati in questi anni nell'aiutarmi ad allestire i campioni, e hanno disegnato le figure per questo articolo, sempre con entusiasmo e premura.

NOTE (PARTE I e PARTE II)

- 1 - A. Gallone, *Analisi chimico-fisiche*, in " P. Brambilla Barcilon, P. C. Marani "Le lunette di Leonardo nel refettorio delle Grazie", Milano 1990, pp.80-81
- 2 - A. Gallone, *Relazione I: " L'Ultima Cena di Leonardo da Vinci: lo studio analitico dell'intonaco, della preparazione e del colore"*, (per la Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici), Milano 1984
- 3 - G. Bottiroli, A. Gallone, *Microspettrofluorimetric Techniques*, "Scientific Methodologies Applied to Works of Art", Proceeding of the Symposium, Florence, May 1984, pp. 168-170
- 4 - G. Bottiroli, A. Gallone, *Application of Microspectrofluorometric Technique to the Study of Binding Media in Samples from Paintings: the Case of Leonardo's Last Supper*, Proceeding of "Art '96" 5th Internat. Conference of Non-destructive Techniques, Budapest Sept. 1996, pp. 159-171
- 5 - G. Elzinga-Ter Haar, *On the Use of the Electron Microprobe in Analysis of Cross-Section of Paint Samples*, *Studies in Conservation*, 16, 1971, pp. 41-55
- 6 - J. Plesters, *Cross-Section and Chemical Analysis of Paint Samples*, *Studies in Conservation*, 2, 1956, pp. 110-157
- 7 - G. Bottiroli, A.C. Croce, C. Pellicciari, R. Ramponi, *Propidium iodide and the thiol-specific reagent DACM as a dye pair fluorescence resonance energy transfer analysis. An application to mouse sperm chromatin*, in "Cytometry, vol. 15, pp. 106-116, 1994
- 8 - G. Bottiroli, A. Gallone, *Studio stratigrafico della pellicola pittorica: pigmenti e leganti*, in "Ricerche sull'affresco absidale della chiesa di Sant'Agata al Monte di Pavia", *Memoria monografica dell'Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere*, Milano 1996, pp. 207-21
- 9 - M. C. Gay, *Essais d'identification et de localisation des liants picturaux par des colorations sp,cifiques sur coupes minces*, *Annales du Lab. de Recherche des Musées de France*, 1970, 8-24
- 10 - E. Martin, *Some Improvement of Analysis of Paint Media*, *Studies in Conservation*, 22, 1977, pp. 63-67
- 11 - riportato da P. Brambilla Barcilon in: *Il Cenacolo di Leonardo in Santa Maria delle Grazie, studi condizioni problemi*, Olivetti 1984, p. 30
- 12 - il pigmento verde analizzato ha caratteristiche molto vicine a quelle del resinato di rame.

Si legge negli scritti di Leonardo (... Leonardo da Vinci, (212) **Aumentazione della bellezza del verderame**, Libro di Pittura I, a cura di Carlo Pedretti, Firenze 1995, pag. 231):

"Se sarà misto col verderame l'aloë cammelino, esso verderame acquisterà gran bellezza, e più ne acquisterebbe col zafrano, se non se andasse in fumo. E questo aloë cammelino si conosce la bontà quando esso si risolve nell'acquavite, essendo calda, che meglio lo risolve che quando essa è fredda. E se tu avessi finito un'opera con questo verde semplice, e la velassi poi sottilmente con esso aloë risoluto in acqua, allora essa opera si farebbe di bellissimo colore: e ancora esso aloë si può macinare a olio per sé, e ancora insieme col verderame, e con altro colore che ti piacesse."

Tre sono dunque i modi di impiego del verderame come pigmento: a) verderame + acquavite calda o fredda (alcol etilico); b) verde semplice: velatura di aloë + acqua; c) verderame + aloë + olio

Verderame = acetato basico di rame $Cu(C_2HO_2) \cdot 2Cu(OH)_2$

Aloë = gomma-resina, dalle incisioni delle foglie di A. vera (Indie occidentali) e A. ferox e A. Perryl (Sud-Africa e Africa orientale)

Come la gambogia, l'aloë è una gomma-resina (resina + polisaccaride idrosolubile):

- componente principale (più del 25 %): barbaloina (aloina) di colore giallo-limone, C-glicoside

derivato dall'aloë-emodina, pure presente nell'aloë in piccola quantità.

È stata usata nei dipinti o nelle arti decorative come velatura gialla o giallo-bruna (J.S. MILLS, R. WHITE, *The Organic Chemistry of Museum Objects*, Butterworths Londra, 1987, p.116)

A. P. LAURIE, (in *The Painter's Methods and Materials*, Dover ed. 1967, p. 45) - dà le seguenti indicazioni: "... it is possible to protect fugitive pigments from change by locking them up in a balsam or varnish made by dissolving resin in a volatile medium, and it was also found that a very small addition of oil could be made to such a balsam without spoiling its protective value. I therefore suggest that possibly in the case of the fugitive pigments such balsams as turpentine of Venice (*Larix decidua*) or oil d'abezzo (*Abies alba*) were used".

Si legge in: **R.J. Gettens, G.L. Stout, *Painting Materials*, Dover ed. 1996, p. 170**: "...The color obtained by the direct action of copper salts on pure balsams is blue-green, and Laurie suggests that warmer hues of the copper green were made by admixture with organic yellow pigment like yellow lake, saffron or gamboge".

Resinato di rame

- Leonardo: verderame + aloë + olio

- Laurie: copper salts (verderame) + resin + oil + gambogia

Nella ricetta di Leonardo manca la "resin", e al posto della gambogia c'è l'aloë.

Gambogia e aloë sono entrambe gomme-resine di proprietà affini ed erano usate come lacche gialle nelle velature. Probabilmente a Leonardo non erano sfuggite le caratteristiche resinose dell'aloë, oltre a quelle di colorante.

Non si può tuttavia escludere che usasse un resinato di rame tratto dal verderame + trementina veneta + aloë.

Il resinato di rame, impiegato nei manoscritti miniati dal VII al XV secolo, è in uso per i dipinti dal XV secolo alla metà del XVI secolo (**R.J. Gettens**,... op. cit. pag. 170).

NOTE (APPENDICE)

(1) Leonardo Da Vinci, (205) Della mutazione de' colori trasparenti dati o misti sopra diversi colori con la loro diversa velazione, op. cit., pag. 229

(2) molto di frequente si osservano particelle gialle - ocre gialla, giallo di piombo e stagno - mescolate al pigmento verde: " e se misti poi giallo col verde, esso si fa più bello." (Leonardo da Vinci, (248) e. De' colori, op. cit., pag.143

(3) Cennino Cennini, Il libro dell'arte, Vicenza 1971, cap LXII, pag. 67

SCHEDE DEI CAMPIONI
5G, 6G, 7G, 8G, 9G, 10G

5G - preparazione, imprimitura, colore grigio originale, ridipintura grigio-bruna traslucida (tovaglia)

- 6 - grigio traslucido: carbonato di calcio, biacca, nero vegetale (ridipintura)
 5 - grigio: carbonato di calcio, nero vegetale (colore originale)
 4 - grigio: carbonato di calcio, nero vegetale (colore originale)
 3 - bianco: biacca d'imprimitura
 2 - preparazione carbonato di calcio con carbonato di magnesio, tracce di quarzo
 1 - grigio infiltrato (analogo al 6) non visibile nella foto

Foto 5G (i=80X)

Foto 5G^A (colorazione per la colla animale) (i=40X)

Foto 5G^B (colorazione per l'uovo) (i=40X)

Foto 5G^C (colorazione per l'olio) (i=80X)

Osservazioni

Materiale di restauro. Lo strato grigio-bruno traslucido, steso sulla superficie, risulta composto da carbonato di calcio e biacca con nero vegetale.

Il legante è colla animale (picco a 440 nm, banda stretta).

Lo stesso materiale è stato identificato lungo il bordo sinistro del campione, non visibile nella foto, infiltratosi attraverso una larga fenditura.

Colore originale. Gli strati grigi sottostanti hanno composizione analoga: biacca con particelle di nero vegetale. In essi sono presenti due leganti: proteico e oleoso. Il legante proteico è dominante (uovo).

Seguono l'imprimitura di biacca e la preparazione

Le prove di colorazione (v. foto) hanno messo in evidenza la distribuzione dei vari leganti, con uovo nella preparazione e nell'imprimitura.

6G - preparazione + imprimitura + ridipintura verde (veste di Andrea)

-
- 6 - resinato rame, biacca, ocra rossa e gialla, carbonato di calcio
 5 - bianco : biacca d'imprimitura
 4 - grigio scuro: carb. di calcio, nero vegetale.....
 3 - bianco : biacca d'imprimitura
 2 - preparazione: carbonato di calcio, carbonato di magnesio, tracce di quarzo
 1 - mater. grigio infiltr. ----- (v.)

Foto 6G (i=80X)

Foto 6G^A (colorazione per la colla animale) (i=40X)

Foto 6G^B (colorazione per l'uovo) (i=40X)

Foto 6G^C (colorazione per l'olio) (i=40X)

Osservazioni

Materiale di restauro. Il verde (6) a base di resinato di rame con biacca, ocra gialla e rossa e carbonato di calcio è visibile solo in una piccola zona della superficie del campione (a destra nella foto).

Lo spesso materiale grigio scuro di restauro (5), infiltratosi sotto il verde, è composto da carbonato di calcio, nero vegetale con tracce di ocra rossa.

Seguono l'imprimitura di biacca e la preparazione.

Leganti. Le prove di colorazione per leganti proteici sono risultate positive in tutti gli strati.

Lo spettro di fluorescenza U.V./visibile mostra una curva molto allargata (v. spettro) con pianerottolo (440-465 nm) per l'imprimitura e per gli strati nn. 4 e 5 (legante proteico e oleoso).

Il legante del materiale grigio scuro infiltrato sembra essere diffuso anche nella piccola zona verde.

Le prove di colorazione indicano la presenza di:

- uovo: nella preparazione e parzialmente nell'imprimitura
- colla animale di restauro + olio: negli strati verde e grigio scuro e nel materiale infiltrato nei cretti e negli strati sottostanti la pellicola pittorica (v. foto).

7G - preparazione, imprimitura, colore originale, ridipintura grigio-bruna (pavimento)

5 - grigio-bruno	biacca, caseato di calcio, ocra gialla, nero vegetale
4 - grigio sottile	biacca, nero vegetale
3 - bruno-rosato	biacca, ocra rossa, nero vegetale
2 - bianco	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	carb. calcio, c. magnesio, tracce di quarzo

Foto 7G (i=40X)

Foto 7G^A (colorazione per la colla animale) (i=80X)

Foto 7G^B (colorazione per l'uovo) (i=40X)

Foto 7G^C (colorazione per l'olio) (i=80X)

Osservazioni

Materiale di restauro. è visibile sulla superficie pittorica uno spesso strato grigio-bruno di materiale di restauro, debordante sulla sinistra, composto da biacca, caseato di calcio, ocra gialla e nero vegetale.

Colore originale. Al di sotto si notano due strati di colore originale: l'uno grigio, composto da biacca e nero vegetale, l'altro bruno-rosato costituito da biacca, ocra rossa e particelle di nero vegetale.

Seguono l'imprimitura di biacca e la preparazione.

Leganti. Il fosforo, rivelato nello strato grigio-bruno tardo, indica la presenza di caseato di calcio, unito alla biacca e al nero vegetale, confermata dall'analisi MSFL. Dalle prove di colorazione risulta che negli strati di colore originali sono presenti sia l'olio sia un legante proteico (uovo).

**8G - preparazione, imprimitura, colore originale, ridipintura verde-bruna
(pavimento/fascia)**

4 - verde-bruno + giallo:	nero vegetale, biacca, verderame, ocra gialla
3'- rosato:	biacca, ocra rossa e gialla, nero vegetale
3 - rosato:	biacca, ocra rossa e gialla, nero vegetale
2 - bianco:	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	carb. calcio, c. magnesio, tracce di quarzo

Foto 8G (i=10X)

Foto 8G^A (colorazione per la colla animale) (i=10X)

Foto 8G^B (colorazione per l'uovo) (i=10X)

Foto 8G^C (colorazione per l'olio) (i=10X)

Osservazioni

Materiale di restauro. In superficie è visibile uno strato tardo verde-bruno traslucido contenente rame e ferro (verderame con ocra gialla). Nella foto appaiono a destra particelle gialle chiare analoghe a quelle osservabili nello strato verde del campione 9G.

Colore originale. Si nota sulla preparazione lo strato probabilmente originale, sottilissimo, di biacca di imprimitura. I due strati soprastanti grigio-rosati sono composti di biacca, ocra rossa e gialla e nero vegetale.

Leganti. Gli strati rosati originali hanno spettri di MSFL analoghi, con pianerottolo a 445-455 nm e banda larga (olio + uovo); lo strato superficiale tardo verde bruno con particelle gialle ha una curva spettrale con pianerottolo a 440-455 nm e banda più stretta (colla animale + olio).

9G - preparazione, imprimitura, colore originale, ridipintura verde- grigiastra (manto di Bartolomeo)

6 - grigiastro-rossiccio (ridipintura):	carbonato di calcio, ocra rossa, nero vegetale
5 - ridipintura verde con particelle gialle:	biacca, verderame, ocra gialla, particelle di giallo d'antimonio
4 - nero:	carbonato di calcio, nero vegetale
3 - verde:	resinato rame, biacca
2 - bianco:	biacca d'imprimitura
1 - preparazione:	carbonato di calcio, carbonato di magnesio, tracce di quarzo

Foto 9G (i=40X)

Foto 9G^A (colorazione per la colla animale) (i=40X)

Foto 9G^B (colorazione per l'uovo) (i=40X)

Foto 9G^C (colorazione per l'olio) (i=40X)

Osservazioni

Colore originale. Sulla biacca d'imprimitura, sottile e distaccata longitudinalmente, si nota uno spesso strato di resinato di rame misto a biacca [nota 12].

Materiale di restauro. Al disopra (strato 5) si distingue una pennellata di colore verde, di impasto disomogeneo, con grosse particelle gialle globulari. Tale verde sembra analogo a quello osservato nel campione 6G (strato 5) e nel campione 8G (strato 4).

Lo strato superficiale grigiastro (5') è composto da carbonato di calcio, nero vegetale e ocra rossa. Il materiale grigio scuro, infiltrato nell'ampia fenditura (4) è formato da carbonato di calcio e nero vegetale con ocra rossa.

Leganti. Lo spettro MSFL del materiale grigio scuro infiltrato è molto allargato: il massimo a 475 nm denota un medium oleoso. Per il materiale grigiastro superficiale lo spettro MSFL è a banda stretta con picco a 437 nm, indicante la sola presenza di legante proteico (colla animale), analogamente a quanto si è rilevato nello strato 6 (grigio-bruno traslucido) del campione 5G.

Nello strato verde originale si è rivelata la presenza di un legante proteico e di sostanze oleose. Il legante proteico è presumibilmente quello originale, unito ad olio anch'esso originale. L'abbondanza di olio nello strato, messa in evidenza anche dalla colorazione, è da attribuirsi alla penetrazione dell'olio contenuto nello strato nero di ridipintura sovrastante. L'ipotesi sembra avvalorata dai risultati dell'analisi del campione di colore verde originale 10G non restaurato, in cui il legante proteico appare dominante.

10G - preparazione, imprimitura, colore verde originale (manto di Bartolomeo)

3 - resinato di rame	(Si), Pb, Cu"	resinato rame, biacca
2 - bianco	Pb	biacca d'imprimitura
1 - preparazione	Ca, Mg	carb. calcio, c. magnesio

Foto 10G

Foto 10G^A (colorazione per la colla animale)

Foto 10G^B (colorazione per l'uovo)

Foto 10G^C (colorazione per l'olio)

Osservazioni

Colore originale. Il campione è stato prelevato dal colore originale non restaurato. Lo strato verde (3), uniforme e omogeneo, è di resinato di rame e biacca.

Leganti. Lo spettro MSFL del verde è somma di due bande: il legante proteico è dominante, ma non è possibile distinguere tra la colla animale e l'uovo.

Nello strato di biacca d'imprimitura, particolarmente spesso, le prove di colorazione appaiono positive per l'uovo e per l'olio, deboli per la colla animale e, in alcune zone, negative.

SPETTRI DI FLUORESCENZA U.V./VISIBILE

Campioni 1G, 2G, 3G, 4G

DIDASCALIE DEGLI SPETTRIIntensità (u.a) in funzione della lunghezza d'onda λ (nm)

A)

Campione 1G

_____	preparazione:	max = 477 nm	(punti 1, 2)
- - - - -	biacca (imprimitura)	max = 475 nm	(punto 3)
.. . . .	crepa	max = 455 nm	(punto 4)

Campione 2G

_____	preparazione chiara	max = 481-2 m	(punti 1, 2, 3, 4)
.. . . .	preparazione scura	max = 474 nm	(punti 4, 5, 6)

Campione 3G

_____	preparazione:	max = 478 nm	(punti 1, 2)
.. . . .	incrocio di crepa	max = 489 nm	(punto 3)

Campione 4G/A

_____	preparazione:	max = 477 nm	(punti 1)
- - - - -	preparazione	max = 477 nm	(punto 2)
.. . . .	preparazione	max = 477 nm	(punto 3)
--- --- ---	crepa	max = 487	(punto 4)

Campione 4G/B

_____	biacca d'imprimitura (vicino alla preparazione)	max = 475 nm	(punto 5)
- - - - -	biacca d'imprimitura (vicino alla preparazione)	max = 473 nm	(punto 6)
.. . . .	biacca d'imprimitura (al centro dello strato)	max = 455 nm	(punto 7)
.....	biacca d'imprimitura (vicino al colore)	max = 465 nm	(punto 8)

Campione 4G/C

_____	colore	max = 450 nm	(punto 9)
.. . . .	colore	max = 458 nm	(punto 10)

SPETTRI DI FLUORESCENZA U.V./VISIBILE

Campioni 1G3, 2G2, 3G3, 4G1

DIDASCALIE DEGLI SPETTRI

CAMPIONI: 1G3, 2G2, 3G3, 4G1

Campione 1G3

1G3 punto1 - preparazione	max = 473	nm	(uovo/colla animale + olio)
1G3 punto2 - preparazione	max = 472	nm	(uovo/colla animale + olio)

Campione 2G2

2G2 punti 1,2 - preparazione	max = 476	nm	(uovo/colla animale + olio)
2G2 punto 3 - preparazione	max = 460	nm	(uovo/colla animale + olio)
2G2 punto 4,5 - preparazione (crepe)	max = 489/90	nm	(olio)

Campione 3G3

3G3 punto 1 - preparazione	max = 473	nm	(uovo/colla animale + olio)
3G3 punto 2 - imprimitura	max = 462	nm	(uovo)
3G3 punto 3 - imprimitura	max = 460	nm	(uovo)

Campione 4G1

4G1 punto 1 - preparazione	max = 472	nm	(uovo/colla animale + olio)
4G2 punti 2,4 - preparazione	max = 470	nm	(uovo/colla animale + olio)
4G1 punto 3 - preparazione	max = 482	nm	(olio)
4G1 punto 5 - crepa	max = 480	nm	(olio)
4G1 punto 6 - crepa	max = 480	nm	(olio)
4G1 punto 7 - fuori crepa	max = 466	nm	(leganti proteici)
4G1 punto 8 - colore	max = 437 e 462	nm	(leganti proteici)
4G1 punto 9 - colore	max = 441 e 462	nm	(leganti proteici)
10- interno biacca (imprimitura)	max = 465-80	nm	(uovo + olio)

I numeri 1, 2,10 corrispondono ai punti segnati sui lucidi da sovrapporre alle Foto

SPETTRI DI FLUORESCENZA U.V./VISIBILE

Campioni 5G, 6G, 7G, 8G, 9G, 10G

DIDASCALIE DEGLI SPETTRI

CAMPIONI 5G, 6G, 7G 8G, 9G, 10G: strati di colore

Campione 5G,	strato 4:	max = 442-458-465	uovo + olio
Campione 5G,	strato 5:	max = 464-477	uovo + olio
Campione 5G,	strato 6:	max = 450	colla animale
Campione 6G,	strati 1,4	max = 443-449; (472)	colla animale + olio
Campione 7G,	strato 5	max = 440	caseato di calcio
Campione 8G	strati3, 3'	max = 437-450-458	uovo + olio
Campione 9G,	strato 4	max = 447-470	colla animale + olio
Campione 9G,	strato 5	max = 439	colla animale
Campione 10G,	strato 3	max = 442-455	leganti proteici

SPETTRI DI FLUORESCENZA U.V./VISIBILE

Campioni di colore 1982

DIDASCALIE DEGLI SPETTRI (campioni di colore 1982)

A - tovaglia:

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| 1 - preparazione | max = 468 nm |
| 2 - biacca (imprimitura) | max = 470 nm |
| 3 - colore blu | max = 450-60 nm |

B - manto di Simone

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1 - preparazione | max = 464/5 nm |
| 2 - biacca (imprimitura) | max = 473 nm |
| 3 - colore rosa (tre picchi) | max = 438 e 448 nm (*) |
| | max = 603/5 nm (lacca rossa) |

(*) La curva spettrale presenta due massimi dovuti a leganti proteici probabilmente di natura diversa; il terzo picco è caratteristico della lacca rossa

C - manica di Matteo

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| 1 - preparazione | max = 477/78 nm |
| 2 - biacca (imprimitura) | max = 471 nm |
| 3 - colore verde | max = 461 nm |

D - abito di Giacomo Maggiore

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| 1 - preparazione | max = 462/3 nm |
| 2 - biacca (imprimitura) | max = 470 nm |
| 3 - colore verde | max = 440/50 nm |

FIGURE NEL TESTO

- Fig. 1 - Mappa dei prelievi (pag. 10)
 Fig. 1'- Sezione stratigrafica di un campione (pag. 10)
 Fig. 2 - Spettri di fluorescenza X - campione 4G: preparazione, biacca d'imprimatura (pag. 14)
 Fig. 2'- Spettri di fluorescenza X - campione 4G: colore (pag. 15)
 Fig. 3 - Convoluzione di Gaussiane (pag. 18)
 Fig. 4 - Campione 2G2: nel disegno sono indicate le zone che si sono colorate selettivamente per colla animale, uovo e olio
 Fig. 5 - mappa dei prelievi

Fig. 6 - Spettri di fluorescenza U.V./visibile

a) reference standars:

_____ colla animale
 uovo
 - - - - - olio

b) campioni dall' Ultima Cena:

.._._. colla animale
 - - - - - uovo
 _____ uovo + olio
 olio

Fig. 7 - campioni 1982

Spettri di fluorescenza U.V./visibile

a) preparazione

_____ tovaglia
 .._._. manto di Simone
 manto di Matteo
 -..-..- manto di Giacomo Maggiore

b) biacca d'imprimatura

----- tovaglia
 .._._. manto di Simone
 -._._._. manto di Matteo
 manto di Giacomo

c) colore originale

----- tovaglia
 .._._. manto di Simone
 manto di Matteo
 -._._._. manto di Giacomo

DASCALIE DELLE FOTO (ingrandimento al microscopio)

PARTE I

Foto nel testo:

Foto 1: campione 4G - foto al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) (Pag. 15)

Foto 2: macrofotografia della superficie del dipinto (Pag. 21)

Foto 3: campione 1G a (40x)

Foto 4: campione 1G b (80x)

Foto 5: campione 2G (40x)

Foto 6: campione 3G (40x)

Foto 7: campione 4G a (40x)

Foto 8: campione 4G b (80x)

CAMPIONI 1GK

Foto 9 - campione 1G11 (40x)

Foto 10 - campione 1G12 (40x)

Foto 11 - campione 1G13 (40x)

Foto 12 - campione 1G21 (40x)

Foto 13 - campione 1G22 (40x)

Foto 14 - campione 1G23 (40x)

Foto 15 - campione 1G31 (40x)

Foto 16 - campione 1G32 (40x)

Foto 17 - campione 1G33 (40x)

Foto 18 - campione 2G11 (40x)

Foto 19 - campione 2G12 (40x)

Foto 20 - campione 2G13 (40x)

Foto 21 - campione 2G21 (40x)

Foto 22 - campione 2G22 (40x)

Foto 23 - campione 2G23 (40x)

Foto 24 - campione 2G31 (40x)

Foto 25 - campione 2G32 (40x)

Foto 26 - campione 2G33 (40x)

Foto 27 - campione 3G11 (40x)

Foto 28 - campione 3G12 (40x)

Foto 29 - campione 3G13 (40x)

Foto 30 - campione 3G21 (40x)

Foto 31 - campione 3G22 (40x)

Foto 32 - campione 3G23 (40x)

Foto 33 - campione 3G31 (40x)

Foto 34 - campione 3G32 (40x)

Foto 35 - campione 3G33 (40x)

Foto 36 - campione 4G11 (40x)

Foto 37 - campione 4G12 (40x)

Foto 38 - campione 4G13 (40x)

Foto 39 - campione 4G21 (40x)

Foto 40 - campione 4G22 (40x)

Foto 41 - campione 4G23 (40x)

Foto 42 - campione 4G31 (40x)

Foto 43 - campione 4G32 (40x)

Foto 44 - campione 4G33 (40x)

CAMPIONI 5G, 6G, 7G, 8G, 9G, 10G

Foto 45 - campione 5G (80X)

Foto 46 - campione 5Ga (40X)

Foto 47 - campione 5Gb (40X)

Foto 48 - campione 5Gc (80X)

Foto 49 - campione 6G (80X)

Foto 50 - campione 6Ga (40X)

Foto 51 - campione 6Gb (40X)

Foto 52 - campione 6Gc (40X)

Foto 53 - campione 7G (40X)

Foto 54 - campione 7Ga (80X)

Foto 55 - campione 7Gb (40X)

Foto 56 - campione 7Gc (80X)

Foto 57 - campione 8G (40X)

Foto 58 - campione 8Ga (40X)

Foto 59 - campione 8Gb (40X)

Foto 60 - campione 8Gc (40X)

Foto 61 - campione 9G (40X)

Foto 62 - campione 9Ga (40X)

Foto 63 - campione 9Gb (40X)

Foto 64 - campione 9Gc (40X)

Foto 65 - campione 10G (40X)

Foto 66 - campione 10Ga (80X)

Foto 67 - campione 10Gb (80X)

Foto 68 - campione 10Gc (80X)

APPENDICE

FOTO INTONACO

Foto 69 - a) arriccio (lunetta sinistra)
 " " b) intonaco (tovaglia): sull'intonaco si osserva lo strato di preparazione a calce, di colore giallino, con tracce dell'imprimitura a biacca sulla superficie

Cena

Foto 70 A - campione C-A2s

Foto 71 B - campione C-A2s

Lunetta sinistra

Foto 72 A - campione IL-B2s

Foto 73 B - campione IL-B2s

Foto 74 - campione IL-C2s

Foto 75 A - campione IL-C3s

Foto 76 B - campione IL-C3s

vela

Foto 77 A - campione 4V

Foto 78 B - campione 4V

Foto 79 A - campione IL-5V

Foto 80 B - campione IL-5V

Lunetta centrale

Foto 81 A - campione IL-1

Foto 82 B - campione IL-1

Foto 83 - campione IL-1P1

Foto 84 A - campione IL-3P1

Foto 85 B - campione IL-3P1

Foto 86 A - campione IL-6P1

Foto 87 B - campione IL-6P1

Foto 88 A - campione IL-7P1

Foto 89 B - campione IL-7P1

Foto 90 A - campione IL-1C

Foto 91 Apv - campione IL-2C

Foto 92 A - campione IL-3C

FOTO LUNETTE (COLORE)

Foto 92 bis - campione CL-10 (80X)

Foto 93 - campione CL-1* (40X)

Foto 94 - campione CL-4 (80X)

Foto 95 - campione CL-L1 (80X)

Foto 96 - campione CL-L6 (a) (80X)

Foto 97 - campione CL-L6 (b) (80X)

Foto 98 - campione CL-L5 (20X)

Foto 99 - campione CL-B1 (80X)

Foto 100 - campione CL-B4 (a) (80X)

Foto 101 - campione CL-B6 (80X)

Foto 102 - campione CL-B2 (a) (80X)

Foto 102bis - campione CL-B2 (a)

Foto 103 - campione CL-B7 (80X)

Foto 104 - campione CL-a (200X)

Foto 105 - campione CL-b (40X)

Foto 106 - campione CL-C (1) (40X)

Foto 106bis - campione CL-C (2)

APOSTOLI ALLA SINISTRA DEL CRISTO

Foto 107	- campione CC-A1	(80X)
Foto 108	- campione CC-2BS	(80X)
Foto 109	- campione CC-A2	(80X)
Foto 110	- campione CC-A7	(80X)
Foto 111	- campione CC-11BT	(80X)
Foto 112	- campione CC-12BT	(80X)
Foto 113	- campione CC-A8	(80X)
Foto 114	- campione CC-5CM	(80X)
Foto 115	- campione CC-6DM	(80X)
Foto 116	- campione CC-7AF	(80X)
Foto 117	- campione CC-9CF	(80X)
Foto 118	- campione CC-13	(80X)
Foto 119	- campione CC-2	(80X)
Foto 120	- campione CC-2	(200X)
Foto 121	- campione CC-15	(200X)

APOSTOLI ALLA DESTRA DEL CRISTO

Foto 121bis	- campione 1x	(80 X)
Foto 122	- campione 2x	(80 X)
Foto 123	- campione 6v	(80 X)
Foto 124	- campione 3x	(80 X)
Foto 125	- campione 7v	(80 X)
Foto 126	- campione 4x	(80 X)
Foto 127	- campione 7x	(80 X)

SOFFITTO

Foto 128	- campione 8c	(200X)
----------	---------------	--------

PARETE DESTRA

Foto 129	- campione 4R	(80 X)
----------	---------------	--------

PARETE CENTRALE

Foto 130	- campione 1p	(80 X)
Foto 131	- campione 3R	(80 X)

ARAZZI, PARETE DESTRA

Foto 132	- campione C-B	(80 X)
Foto 133	- campione D-R	(80 X)

ARAZZI, PARETE SINISTRA

Foto 134	- campione 1R	(40 X)
----------	---------------	--------

STUCCHI

Foto 134	- campione 1St	(80 X)
Foto 135	- campione 2St	(80 X)
Foto 136	- campione 3St	(80 X)
Foto 137	- campione CC-18	(80 X)
Foto 138	- campione CC-3	(30 X)
Foto 140	- campione CC-7	(40 X)

APPENDICE

1. PREMESSA

In questa sezione si sono raccolti in modo schematico i risultati delle analisi effettuate anteriormente al 1985 su materiali prelevati dalla parete dipinta, al fine di determinarne la composizione e la distribuzione spaziale sulla superficie dipinta. I campioni provengono da intonaci, stuccature e dalla materia pittorica. L'indagine ha riguardato le sostanze inorganiche.

Ogni campione è descritto in una scheda corredata di fotografie al microscopio.

Il presentare un repertorio di dati derivanti da queste prime indagini esplorativa è parsa cosa utile come documentazione di una fase di lavoro che ha accompagnato le operazioni di restauro e come testimonianza di situazioni locali in evoluzione.

L'intonaco

Sono stati analizzati campioni di intonaco, prelevati dall'Ultima Cena e dalle Lunette sovrastanti, al fine di determinare la natura dei materiali impiegati e di fornire alcune indicazioni sulle tecniche di esecuzione e sulle possibili cause di deterioramento eventualmente attribuibili ai materiali stessi, e per le sabbie, di stabilirne la provenienza.

Il colore

L'analisi stratigrafica di campioni prelevati dalla pellicola pittorica ha avuto come finalità l'identificazione dei pigmenti, originali e di restauro, e la composizione degli strati di supporto al colore - preparazione, imprimitura - e la loro localizzazione.

Gli stucchi

L'analisi degli stucchi è stata eseguita sui tipi di materiali ricorrenti osservati sulla superficie dipinta, allo scopo di ottenere una prima loro classificazione.

2. CRITERI DI ESPOSIZIONE

L'esposizione dei risultati è così articolata:

- elenco dei campioni: è dato separatamente per l'intonaco e per il colore

Ogni campione è individuato da una sigla:

- I: per intonaco, con indice L per Lunetta e C per Cena
pi- il codice attribuito al momento del prelievo
- I, L-A2S: leggasi: campione di intonaco dalle Lunette,
codice originario L-A2S
- C: per colore (con indice L per Lunetta 3 C per Cena,
pi- il codice originario)

Intonaco

- a) scheda generale: generalità, elenco dei prelievi,
metodi di analisi, risultati, conclusioni, tabelle
riassuntive
- b) schede dettagliate per ciascun campione:
luogo del prelievo, analisi eseguite, fotografie,
risultati e commenti

Questa sezione riguarda soprattutto le lunette, poiché, dalla Cena è stato prelevato un solo campione.

Stucchi

In modo analogo si riportano i risultati delle analisi eseguite su campioni di stucco rosso, nero e grigio prelevati dalla superficie dipinta.

Colore

- a) scheda generale (idem)
- b) schede dettagliate (idem)

Questa sezione riguarda sia le Lunette sia la Cena, con particolare riferimento alla preparazione.

3 - INTONACO

Scheda generale

3.1 In questa prima fase dello studio sono stati analizzati alcuni campioni di intonaco provenienti dalla lunetta laterale sinistra e da quella centrale. Un solo campione è stato prelevato dalla Cena, in corrispondenza della porta che era stata aperta in passato al centro della parete.

Le analisi sono state condotte al fine di determinare la natura dei materiali utilizzati - leganti e aggregato -, la loro granulometria, la struttura degli strati, con alcune indicazioni circa la provenienza delle sabbie.

3.2 ELENCO DEI CAMPIONI

C-A2s: arriccio con strati superiori dalla tovaglia
(all'angolo della porta in corrispondenza della rottura:
al margine estremo a sinistra, a metà altezza)

Lunetta sinistra:

(bordo vecchio, presso il foro del ferro per l'asta della tenda)

IL-B2s: arriccio con strati superficiali
(dal bordo bianco presso il peduccio della vela)
IL-C2s: arriccio con strati superficiali
IL-C3s: intonaco sottostante

Vela

IL-2V: intonaco
IL-4V: intonaco
IL-5V: intonaco

Lunetta centrale

IL-1: arriccio
IL-1P1: arriccio, bordo destro (comune alla parete)
IL-3P1: intonaco, materiale sottostante (zona della crepa della parete)
IL-6P1: intonaco dipinto
IL-7P1: intonaco, dal bordo destro
IL-1C: intonaco
IL-3C: intonaco

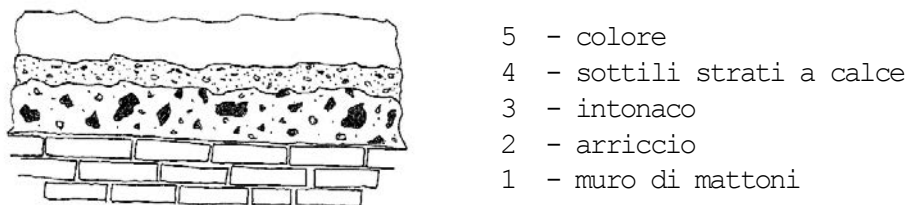
3.3 METODI DI ANALISI

a) esame al microscopio di sezioni sottili di intonaco, di spessore di 60-80 μm , in luce polarizzata rettilineamente e a nicol incrociati. L'osservazione in luce polarizzata e quella a nicol incrociati consentono di identificare le sostanze cristalline dalle loro proprietà ottiche (birifrangenza, pleocroismo, indici di rifrazione, ecc.),

b) analisi per diffrazione di raggi X col metodo delle polveri. Consente di identificare le sostanze cristalline dalla determinazione dei parametri reticolari.

3.4 RISULTATI

La sezione della parete dipinta delle lunette si può schematizzare nel modo seguente (Fig. 1A):



(Fig. 1A)

La foto a) mostra la sezione dal campione IL-B2s prelevato dall'arriccio nella lunetta sinistra. È visibile in superficie un sottile strato a calce (ingrandimento al microscopio: 16 x)

Nella foto b) - sezione di un campione prelevato dalla tovaglia - è visibile lo strato d'intonaco su cui è applicata la preparazione a calce, che appare di colore giallino. Sulla superficie sono visibili tracce dell'imprimatura di biacca.

Una classificazione dei campioni, in base alla provenienza nota di alcuni di questi e al valore del rapporto inerte/aggregato ($R=I/A$), è stata tentata ed è riportata nella Tabella I.

I campioni allineati verticalmente sono risultati di composizione molto simile.

TABELLA I

zona	arriccio ($R = 3:1$)	intonaco sottostante ($R = 2:1$)
Cena	IC-A2s	
Lunetta sinistra	IL-B2s IL-CS2	IL-C2s
Lunetta centrale	IL-1P1 IL-6P1 IL-7P1 IL-1	IL-3P1 IL-3C

ARRICCIO

I campioni provenienti dalla lunetta sinistra (IL-B2s, IL-C2s) e quello della lunetta centrale (IL-1P1) sono caratterizzati da un aggregato abbondante composto di quarzo, poche rocce carbonatiche, rari feldspati inclusi in una matrice carbonatica (calcite, carbonato di magnesio).

Il rapporto inerte/aggregato è $R = 3:1$

Si osservano due granulometrie.

Nei campioni IL-6P1 e IL-7P1 (lunetta centrale) i frammenti litici hanno una sola granulometria medio-fine; la loro composizione è diversa: il quarzo è molto abbondante in entrambi ma, mentre nel primo si osservano poche selci con qualche plagioclasio, microclino e laminette sparse di mica, nel secondo vi sono selci di tutti i tipi, pochi carbonati, microfossili e qualche micascisto. Il legante è calcite e $R = 3:1$.

Il campione IL-1 presenta due granulometrie: una grossa per arenarie, quarzo policristallino, K-feldspato e microclino, una fine per pochi frammenti di rocce carbonatiche e miche. Sono stati osservati anche frammenti di mattone e alcune scaglie di legno.

Il campione IC-A2s, l'unico proveniente dalla Cena, presenta anch'esso un rapporto $R = 3:1$ e due granulometrie. La sua composizione è diversa da quella dei precedenti ed è descritta in dettaglio nella scheda individuale corrispondente (v.).

INTONACO SOTTOSTANTE

I tre campioni IL-C2s, IL-3P1 e IL-3C sono molto diversi per composizione, ma hanno lo stesso rapporto inerte/aggregato ($R = 2:1$) e due granulometrie: medio-fine e fine.

Per la descrizione dettagliata si rimanda alle schede individuali.2

VELA

Dalla vela sono stati prelevati i campioni IL-2V, IL-4V, IL-5V. I campioni IL-1C e IL-2C, di provenienza non indicata, risultano simili ai precedenti e quindi, presumibilmente, sono stati prelevati dalla vela.

Risultano tutti composti da frammenti di rocce sedimentarie: arenaria, calcite, con inclusioni di quarzo e selci. Nel legante (calcite) si osservano molte miche.

Il rapporto inerte/aggregato è: $R = 1:1$.

Leggermente diverso è il campione IL-5V dove si sono osservati frammenti di microclino e di rocce carbonatiche, quarzite e poche miche, con $R = 2:1$.

3.5 CONCLUSIONE

Dalla natura dei frammenti litici osservati nell'intonaco e dalle loro caratteristiche morfologiche si può avanzare l'ipotesi che sia stata impiegata sabbia del milanese, presa probabilmente dall'Olonà.

3.6 INTONACO

Schede dei singoli campioni (*)

(*) Nelle schede si riportano i risultati delle analisi:

- al microscopio su sezione sottile, corredate da foto in luce polarizzata rettilineamente (a), a

nicol incrociati (b) o foto di sezioni trasversali di campioni

- diffrazione X:

C = calcite, Q = quarzo, Pl = plagioclasio, K = K_feldspato, B = biotite, CL = clorite,

M = muscovite, He = ematite

Cena

Tovaglia (all'angolo della porta in corrispondenza della rottura)

IC-A_{2s}: arriccio con strati superiori dal margine estremo a sinistra, a metà altezza)

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile

legante: calcite, carbonato di Mg

aggregato: frammenti di: quarzo mono e policristallino, selce, anfibolo, ortoclasio, microclino, muscovite, (plagioclasio);

rocce carbonatiche a grana molto fine anche con qualche granello di quarzo.

Aggregato a grana non molto omogenea, legante molto fine.

Rapporto aggregato/legante R = 3:1.

Diffrazione X

C⁺⁺⁺, Q⁺⁺⁺, Pl, K, M, Cl, B, He

Lunetta sinistra

Bordo vecchio, presso il foro per ferro (asta della tenda)

IL-B2s: arriccio con strati superficiali
(dal bordo bianco presso il peduccio della vela)

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile:

- legante: calcite
- aggregato: frammenti di: quarzo, poche rocce carbonatiche, rari
feldspati

Aggregato molto abbondante (R = 3:1)

Diffrazione X

C+++, Q+++, Pl, K, M, Cl, B, He

Bordo vecchio, presso il foro dell'asta per la tenda

IL-C2s: arriccio con strati superficiali

FOTO

Sezione del campione fotografata al microscopio ottico: in superficie tracce di ocra rossa

Diffrazione X
C+, Q+++, Pl, K, Cl, B

Bordo vecchio, presso il foro dell'asta per la tenda

IL-C3s: intonaco sottostante

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile

legante : calcite

aggregato: due granulometrie:

a) grossa: anfiboliti, rocce carbonatiche

b) fine: micascisto, biotite, muscovite, quarzo

Diffrazione X

C, Q++, Pl, K, M, Cl, B

Lunetta centrale

IL-1: ariccio

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile:

legante : calcite

aggregato: due granulometrie:

a) grossa: arenarie, quarzo policristallino, K-feldspato,
plagioclasio, microclinob) fine: pochi frammenti di rocce carbonatiche, miche
(muscovite, biotite) (R = 3:1)Sono stati osservati anche un frammento di mattone e alcune scaglie di
legno.

Diffrazione X

C, Q⁺⁺⁺, Pl, K, Cl, M⁺, B⁺

IL-1Pl: arriccio, bordo destro (comune alla parete)

FOTO

Sezione del campione fotografata al microscopio ottico

Sezione sottile:

legante: calcite

aggregato: frammenti di: quarzo, pochi feldspati, rari carbonati, miche
(R = 3:1)

Diffrazione X

C+, Q+++, Pl+, K+, M+, Cl, B+, He

IL-3Pl: intonaco, materiale sottostante (crepa parete)

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile:

legante: calcite

aggregato: due granulometrie

a) grossa: pochi frammenti di selce a grana ultrafine con
fossili (molto abbondante), apatite, calcedonio, poca mica

b) fine: quarzo prevalente

(R = 3:1)

Diffrazione X

C+++, Q+++, Pl+, K+, M, Cl, B, He

IL-6P1: intonaco dipinto

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile

legante: calcite

aggregato: una sola classe di aggregato medio-fine, composto da frammenti di: quarzo, qualche selce, plagioclasio e microclino, laminette sparse di mica fine (R = 3:1)

Diffrazione X

C+, Q+++, Pl, K, Cl+, B, He

IL-7P1: intonaco, dal bordo destro

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile:

legante: calcite

aggregato: quasi tutto aggregato con moltissime selci di tutti i tipi,
pochi carbonati, microfossili; micascisto, ma soprattutto quarzo

Diffrazione X

C+, Q++, Pl, K, M, Cl, B, He

IL-1C: intonaco

FOTO b)

Sezione sottile

legante: calcite

aggregato: due granulometrie:

a) grossa: frammenti di quarzo +felspato (forse di origine vulcanica, abbastanza corrosivo); rocce anfibolitiche, arenaria, rocce carbonatiche;

b) fine: frammenti di quarzo, rocce carbonatiche, plagioclasio, quarziti, anfibolo

(R = 1:1)

Diffrazione X

C+, Q++, Pl, K, M, Cl, B, He

IL-2C: intonaco

FOTO b)

Sezione sottile:

legante: calcite microcristallina con molta mica

aggregato: due granulometrie:

a) grossa: frammenti di: selce, plagioclasio, rocce metamorfiche (quarziti), rocce carbonatiche, miche

b) fine, quarzo, miche

(R = 1:1)

IL-3C: intonaco

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile

legante: calcite, molto abbondante

aggregato: due granulometrie:

a) grossa: rocce carbonatiche, ocra rossa, anfibolite,
selci, quarzo

microcristallino, miche, feldspati

b) fine: quarzo, biotite, K-feldspato, muscovite

Diffrazione X

C+, Q++, microclino, Pl+, K+, M, Cl, B, He

Vela

IL-2V: intonaco

Diffrazione X

C+, Q++, Pl, K, M, Cl, B, He

IL-4V: intonaco

FOTO a)

FOTO b)

Sezione sottile

legante: calcite con molte miche

aggregato: frammenti di rocce sedimentarie: arenarie, calcite +
quarzo; selce

(R = 1:1)

E' molto simile all'1C e al 2C.

Diffrazione X

C⁺⁺⁺, Q⁺⁺⁺, Pl⁺, K⁺, M⁺, B⁺

IL-5V: intonaco

FOTO a)

FOTO a)

Identico al precedente

Si osservano inoltre due frammenti di microclino, poca mica, carbonati, quarzite (R = 2:1)

4 - COLORE

Scheda generale

4. Dalle lunette e dalla Cena, in diversi momenti dei lavori di restauro, sono stati prelevati dei campioni di colore, da esaminare con tecniche analitiche chimico-fisiche, allo scopo di determinare la natura dei materiali impiegati, originali e di ridipintura, e la stratigrafia della pellicola pittorica.

4.1 METODI DI ANALISI

Sono stati utilizzati i seguenti metodi di analisi:

- esame al microscopio ottico in varie lunghezze d'onda
- esame al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.)
- test microchimici di orientamento
- analisi per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica su
sezioni trasversali levigate di campioni inglobati in resina poliestere polimerizzante a freddo
- analisi per diffrazione di raggi X

Per l'individuazione dei leganti organici si sono effettuate in alcuni casi:

- Prove di colorazione con reagenti specifici per leganti proteici (colla animale e uovo) e per leganti oleosi
- analisi microspettrofluorimetriche

I risultati di queste ultime analisi effettuate sui "Campioni 1982" prelevati dalla Cena sono esposti e commentati nella Parte II, sezione 4.2.

Le tecniche analitiche sono descritte in dettaglio nella Parte I, sezione 2, a cui si rimanda.

5.1 RISULTATI

5.1.1 Struttura degli strati di colore.

Tra il colore e l'intonaco si osserva uno spesso strato compatto di carbonato di calcio con carbonato di magnesio (60-80 μm), ricoperto da uno strato sottile traslucido di uguale composizione (10 μm).

Nei campioni analizzati si nota in generale un solo strato di colore.

Il verde delle foglie ha un'unica stesura di verderame, biacca e ocra gialla, quest'ultima anche in grossi granuli.

Fanno eccezione i campioni prelevati dal soffitto o dal fondo. Nei punti in cui la pellicola pittorica è meglio conservata e dagli stemmi, dove è stata impiegata la foglia di stagno, la stratigrafia è più complessa:

- il rosso scuro del fondo delle lunette, contenente ematite e nero vegetale (CL-4), è ricoperto da una stesura di azzurrite molto impoverita o perduta

- nella lunetta centrale, in una zona al margine dello stemma, si nota, sul fondo bianco di carbonato di calcio, uno strato verde chiaro con verderame, ocra gialla e biacca, simile al verde delle foglie.

Al di sopra è visibile lo strato di ocra gialla e biacca che costituisce la base per la foglia di stagno sovrastante; sullo stagno si osserva uno strato di azzurrite in grossi cristalli. Nella doratura a missione delle piume la foglia d'oro è stata velata con resinato di rame (CL-B1, CL-B7).

In tutti gli strati è stata rivelata la presenza di carbonato di calcio con carbonato di magnesio.

5.1.2 Pigmenti

Sono stati identificati i pigmenti: azzurrite, verderame, resinato di rame, malachite, ocra gialla, giallo di piombo e stagno, giallo di piombo ocra rossa, nero vegetale, biacca; il carbonato di calcio e il carbonato di magnesio sono presenti in tutti i campioni.

Azzurrite:

è stata osservata, a volte solo in tracce, sullo strato rosso scuro del fondo delle lunette. Nel campione CL-4 prelevato dal blu del soffitto, ben conservato, è visibile uno spesso strato di azzurrite con qualche cristallo di malachite.

Nei nastri (campione CL-5) si notano tracce di azzurrite su una doratura a foglia d'oro a missione.

Resinato di rame: è steso in velatura sull'oro in velatura sull'oro (campioni L-B1, L-B7).

Verderame: è il pigmento identificato nella maggior parte dei verdi, spesso mescolato all'ocra gialla e applicato in uno o più strati; è unito alla biacca in proporzioni variabili.

Resinato di rame: è stato impiegato in velatura sulla foglia d'oro delle piume (CL-B1 e CL-B7).

Malachite: appare in piccole quantità associata all'azzurrite (CL-a) e CL-5).

Ocra gialla: si osserva in molti strati gialli (v. schede dei singoli campioni) mescolata a biacca.

Giallo di piombo e stagno: è stato identificato, sotto la doratura, nello strato verde chiaro nel campione CL-B1 e in quello giallo del campione CL-B7, entrambi provenienti da una piuma.

Giallo di piombo: lo strato sottostante lamina di stagno contiene questo pigmento, unito a biacca e a caseato di calcio.

Ematite: è il pigmento maggioritario osservato nel rosso scuro del fondo

Ocra rossa: è presente in alcuni strati, spesso unita a nero vegetale.

Dorature:

si sono notate tracce di doratura a foglia d'oro applicata a missione nei campioni di blu del biscione (CL-b) e dei nastri (CL-5) e di verde dalle piume (CL-B6, LB-7), dove l'oro, come si è detto, è stato velato con resinato di rame. In altre zone la foglia d'oro mostra tracce di velatura a lacca rossa.

Stagno

Nello stemma, sotto del blu del biscione (Cl-a, Cl-b) e nel campione di giallo CL-B6, è stato impiegato lo stagno in foglia abbastanza spessa (22-25 μm), applicata a missione.

Scialbi

Alcuni campioni prelevati dagli scialbi risultano composti da stesure compatte di carbonato di calcio.

Leganti

Le prove di colorazione sono risultate positive per i leganti proteici (colla animale, uovo). In numerosi campioni è stato identificato il caseato di calcio. L'analisi alla microsonda elettronica ha rivelato la fluorescenza X caratteristica del fosforo - elemento che insieme col calcio compone questa sostanza - nello strato giallo sottostante la lamina di stagno (LB-2,4,6) e la foglia d'oro (LB7), e nel giallo e verde di una foglia (CL-6).

Il campione CL-B2 è stato fotografato al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) (cfr. SCHEDE DEI SINGOLI CAMPIONI). mostra nella sezione, sulla destra, una zona grigia tondeggiante, di granulometria molto fine e di impasto omogeneo, in cui gli elementi maggioritari sono risultati il calcio e il fosforo. Nella foto al microscopio ottico, a colori, la stessa zona appare bianca; nei piccoli granuli bianchi è stato rivelato il piombo (biacca).

LUNETTE (colore)

Scheda generale

ELENCO DEI CAMPIONI

Lunetta sinistra

CL-1 - rosso dal fondo

CL-CL* - bianco a più strati

Lunetta centrale

CL-4 - blu soffitto

CL-1 - verde chiaro stratificato dalle foglie

CL-6 - giallo e verde dalle foglie (dopo la pulitura)

CL-6 bis " " " " " (altra zona)

CL-5 - blu e oro dai nastri

CL-B6 - oro e verde dalla piuma

CL-B7 - verde dalla piuma al centro

CL-B1 - giallo e stagno dallo stemma

CL-B2 - giallo e stagno (altra zona)

CL-B4 - bruno-verde al margine dello stemma

CL - a) blu dal biscione

CL - b) blu dal biscione (altra zona)

CL - c) fondo nero del biscione

TABELLA I

LUNETTA SINISTRA E LUNETTA DESTRA

Analisi per fluorescenza di raggi X (microsonda elettronica)

Campione	Elementi rivelati	Pigmenti identificati
Lunetta sinistra		
CL-10 - rosso dal fondo		
3 - rosso scuro	(Mg), Ca, Cu, Fe	ematite, azzurrite, nero vegetale, carbonati di calcio e di magnesio
2 - bianco	Mg, Ca"	carbonati di calcio e di magnesio
1 - intonaco	-----	intonaco
CL-CL* - bianco a più strati		
4 - bianco sottile	Mg, Ca"	carbonato di calcio e di magnesio
3 - bianco sottile	idem	idem
2 - bianco spesso	idem	idem
1 - intonaco	-----	intonaco
CL-CL** - azzurro chiaro dal fondo (polvere)		
- grani azzurri, bianchi	Ca, (Mg), Cu	azzurrite, carbonato di calcio e di magnesio (tr.)
Lunetta centrale		
CL-4 - blu dal soffitto		
5 - blu scuro	Mg, Si, K, Fe, Ca, Cu	azzurrite, ocra rossa, nero vegetale, carbonati di calcio, di magnesio
4 - rosso sottile	Ca, Mg, Fe	ocra rossa, carbonati di calcio e di magnesio
3 - rosso scuro spesso	Mg, Ca, Fe,	ematite, nero vegetale, poco carbonato di calcio, di magnesio
2 - bianco sottile	Mg, Ca", Si	carbonati di calcio e di magnesio
1 - bianco spesso	idem	idem
CL-1 - verde chiaro stratificato dalle foglie		
4 - verde chiaro	Ca", (Mg), Cu, Fe	verderame, ocra gialla, carbonato di calcio, di magnesio
3 - nero	(Ca)	nero vegetale
2 - verde + giallo	(Mg) Ca, Cu	verderame, ocra gialla, carbonato di calcio, di magnesio
1 - bianco spesso	Ca, (Mg)	carbonato di calcio, di magnesio
CL-6 - giallo e verde dalle foglie (dopo la pulitura)		
4 - verde con giallo	Al, Mg, Si, Pb, Cu, Fe, P	ocra gialla, verderame, biacca, carbonato di calcio e di magnesio, caseato di calcio
3 - zona gialla	Mg, Ca, Fe, P	ocra gialla, carb. di calcio e di magnesio, caseato di calcio
2 - bianco sottile	Mg, Ca", Si	carbonati di calcio e di magnesio
1 - bianco spesso	idem	idem
CL-5 - blu e oro dai nastri		
3 - tracce di doratura	Au	oro (tr.) a missione
2 - blu scuro	(Ca), Cu"	azzurrite, nero vegetale
1 - strato nero	-----	nero vegetale
CL-B1 - oro e verde dalla piuma		
3 - velatura verde	Cu	resinato di rame
2 - oro	Au	oro in foglia frammentato
1 - verde chiaro gialla	Al, Si, Ca, Cu", Pb", Sn", Fe	verderame, giallo di piombo e stagno, biacca, ocra carbonato di calcio

CL-B7 - verde e oro dalla piuma al centro

5 - verde in tracce	(Ca), Cu	resinato di rame
4 - oro	Au	foglia d'oro in frammenti
3 - giallo	Al, Mg, Ca", Pb", P	ocra gialla, biacca, carbonati di calcio e di magnesio, caseato di calcio
2 - blu	(Ca), Cu	azzurrite
1 - rosso in tracce	(Al), Si, Fe"	ocra rossa

CL-B6 - stagno e giallo dallo stemma

4 - bruno chiaro	Mg, Al, Si, Ca, K, (Fe), (P), (Cl)	ocra rossa, carbonato di calcio, caseato di calcio
3 - grigio	Sn	stagno in lamina
2 - giallo	Si, Pb, Ca, K, Cl, Fe, P	ocra gialla, giallo di piombo, biacca, carb. di calcio e di magnesio, caseato di calcio
1 - bianco	Mg, Al, Si, Ca	carbonato di calcio e di magnesio

CL-B2 - giallo e stagno

2 - grigio	Sn", Pb, P, Cl	stagno (frammenti)
1 - giallo	Al, Mg, Ca", Pb", P	ocra gialla, biacca, carbonati di calcio e di magnesio, caseato di calcio
1' - sferula bianca	P, Ca	caseato di calcio

CL-B4 - bruno-verde al margine dello stemma

6 - rosso (tracce)	Si, (Ca), Fe	ocra rossa
5 - blu	(Ca), Cu"	azzurrite
4 - grigio	Sn	stagno in foglia
3 - giallo	Pb, Ca, Mg, Fe, P	ocra gialla, biacca, carbonati di calcio e di magnesio, caseato di calcio
2 - verde chiaro	Al, Si, K, Ca, Pb, Cu, Fe,	verderame, ocra gialla, carbonato di calcio
1 - bianco	Mg, Si, Ca"	carbonato di calcio, di magnesio

CL - a) blu dal biscione

3 - particelle blu	(Pb) Cu	azzurrite, tracce di biacca
2 - grigio	Sn	stagno in lamina
1 - giallo spesso	Al, Si, Ca, Pb"	ocra gialla poco carbonato di calcio, biacca

CL - b) blu dal biscione

(analogo al precedente)

CL - c) fondo nero del biscione (prima della pulitura)

4 - bianco	Si, Ca", Pb, K, Fe	carbonato di calcio, biacca, ocra gialla
2 - grigio-bruno	Sn	lamina di stagno
1 - giallo spesso	Al, Si, Ca, Pb", P	ocra gialla, biacca, carbonato di calcio, caseato di calcio

LUNETTE (colore)

Schede dei singoli campioni

Lunetta sinistra

CL-10 - rosso dal fondo

- 3 - rosso scuro: ematite, azzurrite (in tracce o perduta), nero vegetale, carbonato di calcio, carbonato di magnesio
- 2 - sottile strato bianco: carbonati di calcio e di magnesio
- 1 - intonaco

FOTO CL-10

Nella fotografia al microscopio ottico della sezione sono visibili: l'intonaco (1), contenente frammenti litici prevalentemente di media granulometria inclusi in matrice carbonatica; uno strato soprastante bianco, molto sottile (2) di carbonato di calcio; lo strato rosso scuro superficiale (3), a base di ematite unita a granuli neri e a una piccola quantità di carbonato di calcio e di carbonato di magnesio. Nella zona fotografata non si osservano particelle di azzurrite.

CL-CL* - bianco a più strati

4 - bianco sottile:	carbonato di calcio, carbonato di magnesio (10 µm)
3 - bianco sottile:	carbonato di calcio, carbonato di magnesio (10 µm)
2 - bianco spesso	carbonato di calcio, carbonato di magnesio (80-100 µm)
1 - intonaco	----- intonaco

FOTO CL-L *

Sull'intonaco (1) si osserva uno spesso bianco di carbonato di calcio e di magnesio, seguito da due strati di materiale meno denso di composizione analoga (2, 3); quello superficiale è discontinuo.

Lunetta centrale

CCl-4 - blu dal soffitto

- 5 - blu scuro: azzurrite, ocra rossa, nero vegetale, carbonati di calcio e di magnesio
4 - rosso sottile ocra rossa, carbonati di calcio e di magnesio
3 - rosso scuro: ematite, nero vegetale, poco carbonato di calcio
2 - bianco sottile: carbonati di calcio e di magnesio
1 - bianco spesso idem idem

FOTO CL-4

Nel campione in esame si osservano tutti gli strati di colore che compongono la pellicola pittorica del fondo.

Lo strato di base è composto di carbonato di calcio con carbonato di magnesio (1), su cui si nota uno strato sottile di composizione analoga (2). In entrambi, stata rivelata la presenza di solfato di calcio.

Lo strato successivo rosso scuro (3) contiene ematite mista a nero vegetale ed è ricoperto da uno straterello di ocra rossa (4). Ai pigmenti è unito il carbonato di calcio con poco carbonato di magnesio.

Al di sopra è stato applicato uno strato di azzurrite in grossi cristalli (5) inseriti in una stesura di ocra rossa e nero vegetale di fine granulometria.

CCL-1 - verde chiaro stratificato dalle foglie

- 4 - verde chiaro : verderame, ocra gialla, carbonato di calcio, di magnesio
- 3 - bruno sottile : sottile stato bruno organico (nero vegetale)
- 2 - verde + giallo: verderame, ocra gialla, carbonato di calcio, di magnesio
- 1 - bianco spesso : carbonato di calcio, di magnesio

FOTO CL-1

Su un fondo bianco spesso (1) di carbonato di calcio con tracce di carbonato di magnesio, si osserva uno strato verde chiaro composto di verderame con incluse particelle di ocra gialla (2). Lo strato verde superficiale (3), più chiaro e più sottile ha composizione analoga. Tra i due strati si nota una stesura di nero vegetale.

CL-6 - giallo e verde dalle foglie (dopo la pulitura)

- 4 - verde con giallo : ocre gialla, verderame, biacca, carbonato di calcio, di magnesio; caseato di calcio
- 3 - zona gialla estesa : ocre gialla, carbonato di calcio, di magnesio; caseato di calcio
- 2 - sottile strato bianco: carbonato di calcio
- 1 - intonaco

FOTO CL-6

La foglia della ghirlanda cui proviene il campione è stata dipinta su un sottile strato a calce (2) sovrastante l'intonaco (1). Lo strato giallo-verde (4) è composto di verderame con particelle di ocre gialla e si biacca. La zona gialla estesa risulta composta di ocre gialla (3). Ai pigmenti colorati è unito il carbonato di calcio con tracce di carbonato di magnesio; è stata rivelata anche il caseato di calcio, più abbondante verso la superficie.

Cl-5 - blu e oro dai nastri

- 3 - tracce di doratura: frammenti di oro in foglia applicato a missione
- 2 - strato di azzurrite in grossi cristalli
- 1 - strato con nero vegetale

CL-5

Il campione proviene da un nastro della corona che circonda lo stemma. Il prelievo ha interessato gli strati superficiali della pellicola pittorica. In esso si osservano tracce della doratura a foglia d'oro applicata a missione (3) su uno spesso strato di azzurrite in grossi cristalli (2). Al di sotto è visibile uno strato contenente nero vegetale (1).

CL-B1 - oro e verde (zona della piuma)

- 3 - velatura verde: resinato di rame
- 2 - oro : oro in foglia frammentato
- 1 - verde chiaro : verderame, giallo di piombo e stagno, biacca, ocra gialla,

FOTO CL- B6

La scaglia di colore, proveniente da una zona della piuma, mostra in sezione uno strato verde chiaro (1) composto da verderame, biacca, giallo di piombo e stagno e poca ocra gialla, uniti a carbonato di calcio con carbonato di magnesio. Sulla superficie si nota la doratura a foglia d'oro (2), velata di resinato di rame (3).

CL-B7 - verde e oro (zona centrale della piuma)

- 5 - verde: resinato di rame in tracce
- 4 - oro: foglia d'oro in frammenti
- 3 - giallo: ocra gialla, biacca, carbonati di calcio e di magnesio, caseato di calcio
- 2 - blu: azzurrite
- 1 - rosso: ocra rossa, carbonati di calcio e di magnesio

FOTO CL-B7

Il campione ha una struttura più complessa di quella osservata nel precedente. Le tracce di ocra rossa, visibili al margine inferiore della sezione (1), sembrano riferibili al rosso del fondo, ricoperto di azzurrite in grossi cristalli (2).

Al di sopra è visibile uno spesso strato composto di ocra gialla anche in grossi granuli, biacca, e carbonato di calcio con carbonato di magnesio (3).

Di seguito si nota la doratura a foglia d'oro (4) frammentata e impoverita, su cui si distinguono tracce della velatura di resinato di rame in parte virato da verde in bruno.

Nello strato giallo è stata rivelata la presenza di caseato di calcio.

L-B6 - stagno e giallo dallo stemma

- 4 - bruno chiaro: ocra rossa, carbonato di calcio, caseato di calcio
- 3 - grigio: stagno in lamina
- 2 - giallo: ocra rossa, carbonati di calcio e di magnesio, caseato di calcio
- 1 - bianco: carbonato di calcio e di magnesio

FOTO CL-B6

Nella sezione è visibile la lamina di stagno (3), applicata su un fondo contenente ocra gialla e biacca (2). In superficie si nota uno strato irregolare bruno chiaro (4) con particelle di ocra rossa, biacca e carbonato di calcio e di magnesio. Sia in questo strato sia in quello giallo è stata rivelata la presenza di caseato di calcio. Lo strato bianco di base (1) è composto di carbonati di calcio e di magnesio.

CL-B2 - giallo e stagno dallo stemma

2 - grigio + giallo: frammenti di stagno, granuli di ocre gialla, biacca e carbonato di calcio, con tracce di azzurrite in superficie

1 - spesso strato giallo: ocre gialla, biacca, carbonato di calcio, di magnesio, caseato di calcio;

- sferula bianca: caseato di calcio

- piccolo granuli bianchi: biacca

a) FOTO CL-B2 (a colori)

b) " " (al microscopio elettronico a scansione)

FOTO a)

Il campione mostra lo spesso strato giallo (1) composto ocre gialla con particelle di biacca che costituisce la base per la lamina di stagno, qui ridotta a pochi minuscoli frammenti (2).

Su di essa si sono osservate tracce di azzurrite non visibili nella foto.

Il grosso granulo bianco (1') che spicca nello strato giallo risulta composto di caseato di calcio, le piccole particelle bianche sono di biacca.

FOTO b)

Nella fotografia al microscopio elettronico a scansione (S.E.M) si distinguono chiaramente, lungo il bordo superiore della sezione, i frammenti di lamina di stagno che appaiono bianchi; sono bianchi anche i piccoli granuli di biacca (bianco di piombo) inclusi nello strato giallo (Sn e Pb sono elementi pesanti).

Il grosso granulo compatto a destra è il globulo di caseato di calcio: appare grigio in quanto composto da elementi leggeri (P, Ca).



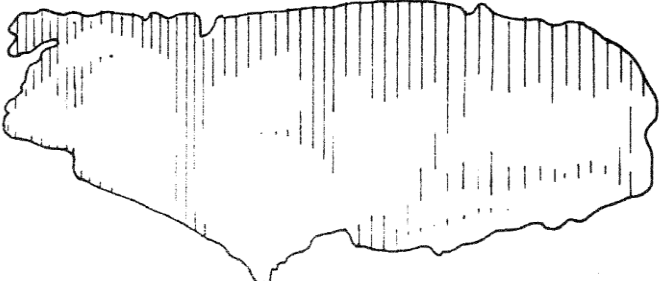
glue



egg



oil



CL-B4 - bruno-verde al margine dello stemma

6 - rosso (tracce):	ocra rossa
5 - blu:	azzurrite
4 - grigio	stagno in foglia
3 - giallo	ocra gialla, biacca, carbonati di calcio e di magnesio, caseato di calcio
2 - verde chiaro	verderame, ocra gialla, carbonato di calcio
1 - bianco	carbonato di calcio e di magnesio

FOTO CL-B4

Il prelievo ha interessato l'intera pellicola pittorica.

Sullo spesso bianco di base (1), composto di carbonato di calcio con carbonato di magnesio.

Di seguito si osserva uno strato verde chiaro composto di verderame, ocra gialla e biacca con carbonati di calcio e di magnesio (2).

Lo strato giallo successivo (3), a base di ocra gialla e biacca con caseato di calcio, è la stesura di supporto alla foglia di stagno (4).

Quest'ultima è ricoperta da uno strato di azzurrite in grossi cristalli (5) con tracce di ocra rossa in superficie (6).

CL - a) blu biscione

3 - blu: azzurrite, tracce di biacca

2 - grigio: stagno in lamina

1 - giallo: ocre gialla, biacca, poco carbonato di calcio

FOTO CL a)

Nella sezione del campione si nota uno strato giallo molto spesso (1) composto di ocre gialla biacca con poco carbonato di calcio e di magnesio: , lo strato di base per la lamina di piombo soprastante (2). Al di sopra è visibile una stesura discontinua di azzurrite in grossi cristalli (3).

Cl - b) blu biscione (altra zona)

3 - blu: azzurrite, tracce di biacca

2 - grigio: stagno in lamina

1 - giallo: ocre gialla, biacca, poco carbonato di calcio

FOTO CL b)

La composizione è analoga a quella del campione precedente, ma lo spessore degli strati è differente.

Lo strato giallo (1) abbastanza discontinua - base per la lamina di stagno (2) - è molto più sottile con abbondanza di materiale organico bruno nella zona inferiore.

La stesura superficiale di azzurrite (3) appare meglio conservata. Sulla superficie, al centro, sono visibili tracce di materiale bruno organico (protettivo, fissativo)

CL - c) fondo nero biscione (prima della pulitura)

3 - bianco: carbonato di calcio, tracce di biacca e di ocre gialla

2 - lamina di stagno

1 - giallo spesso: ocre gialla, biacca, poco carbonato di calcio, caseato di calcio

- FOTO CL c)

1 - al microscopio ottico (a colori)

2 - al microscopio elettronico

1 - La sezione mostra gli strati più profondi della pellicola pittorica, di cui il campione CL b) sembra il plausibile completamento.

Qui vediamo solo lo strato di ocre gialla e biacca con caseato di calcio (1) e la lamina di stagno soprastante (2).

Il materiale biancastro sulla superficie (3) è carbonato di calcio con tracce di biacca e di ocre gialla.

2 - Nella fotografia al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) si distinguono chiaramente, lungo il bordo superiore della sezione, i frammenti di lamina di stagno che appaiono bianchi; sono bianchi i piccoli granuli di biacca (bianco di piombo) inclusi nello strato giallo (lo stagno e il piombo sono elementi pesanti); la zona grigia contiene ocre gialla e carbonato di calcio (ferro e calcio sono elementi leggeri).

Il grosso granulo visibile in basso verso il centro, di granulometria molto fine e di impasto omogeneo, è composto di caseato di calcio; appare grigio in quanto composto da elementi leggeri (P, Ca).

6 - CENA (colore)

6.1 APOSTOLI ALLA SINISTRA DEL CRISTO:
SIMONE, TADDEO, MATTEO, FILIPPO,
GIACOMO MAGGIORE

ELENCO DEI CAMPIONI

SIMONE

- CC-A1 - colore rosa chiaro originale (bordo del manto di Simone)
- 2 BS - colore rosa originale (manto di Simone)
- CC-A2 - colore grigio grigio originale (manto di Simone)

TADDEO

- CC-A7 - colore verde verde originale (veste di Taddeo)
- 11 BT - colore bruno originale (veste di Taddeo)
- 12 CT - colore incarnato originale + ridipintura bruna (Taddeo)

MATTEO

- 5CM - colore blu originale (manto di Matteo)
- CC-A8 - colore originale rosa/blu + ridipintura gialla (bordo dell'abito di Matteo)
- 6DM - colore incarnato originale (mano di Matteo)

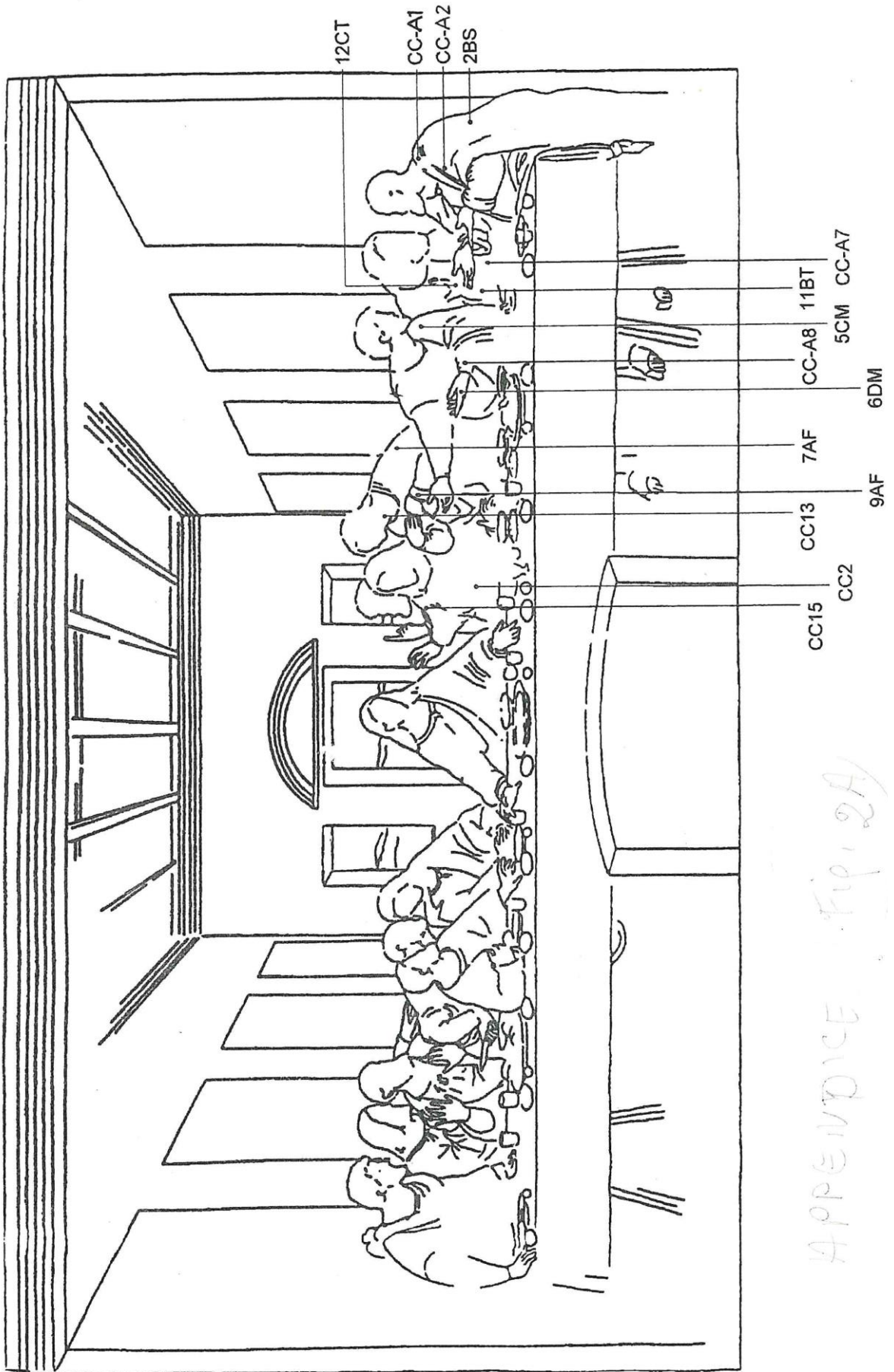
FILIPPO

- 7AF - colore rosso scuro originale (manto di Filippo)
- 9AF - colore blu originale (polsino dell'abito di Filippo)
- CC-13 - colore incarnato originale + ridipintura bruna (collo di Filippo)

GIACOMO MAGGIORE

- CC-2 - colore giallo-verde originale + ripintura gialla (abito di Giacomo Maggiore)
- CC-15 - colore giallo- originale dall'abito + ridipinture

In Fig. 2A si riporta la mappa dei prelievi.



APPENDICE Fig. 2A

SIMONE

Campione CC-A1 - colore rosa chiaro originale (bordo del manto di Simone)

Colore originale. Il campione proviene da una zona in luce. Due sono gli strati che compongono la pellicola pittorica, composti dagli stessi pigmenti usati in proporzioni diverse: lacca rossa e biacca. Nello strato rosa pallido superficiale la biacca è dominante, nello strato di base compaiono anche particelle di nero vegetale. E' la maniera tradizionale di dipingere i rossi chiari, che ritroveremo in tutto il dipinto.

Campione 2 BS - colore rosa originale (manto di Simone)

Colore originale. Anche qui gli strati di colore sono due: uno di fondo, giallo chiaro leggermente rosato, composto di biacca e ocra gialla con minime tracce di lacca rossa; lo strato soprastante rosa scuro traslucido, in cui la lacca rossa, è unita a una piccola quantità di biacca e a particelle di nero vegetale. Sembra questo il caso di "... un colore trasparente sopra un altro color (;) è variato da lui, lo si compone un color misto diverso da ciascun de' semplici che lo compongono..." (1).

Campione CC-A2 - colore grigio originale (manto di Simone)

Colore originale. La pellicola pittorica appare molto abrasa. Il colore è composto di biacca e nero vegetale.

TADDEO

Campione CC-A7 - colore verde originale (veste di Taddeo)

Colore originale. Lo strato pittorico risulta composto di resinato di rame con particelle di giallo di piombo e stagno e tracce di nero vegetale.

Campione 11 BT - colore bruno originale (veste di Taddeo)

Colore originale. Sulla biacca d'imprimatura si nota uno strato bruno-rossiccio nel quale sono stati identificati la biacca, l'ocra gialla e l'ocra rossa e il nero vegetale

Campione 12 CT - colore incarnato originale + ridipintura bruna (Taddeo)

Colore originale. Nella sezione si notano due strati sovrapposti di composizione analoga: ocra gialla, biacca, particelle di nero vegetale e tracce di cinabro in proporzione diverse; lo strato superiore è più chiaro.

Ridipintura. Lo strato scuro superficiale di restauro contiene ocra rossa, poca biacca, ocra gialla e nero vegetale in tracce.

MATTEO

Campione 5CM - colore blu originale (manto di Matteo)

Colore originale. È costituito da uno strato di azzurrite fine e biacca ricoperto da strato di biacca con incluse particelle di lapislazzuli di granulometria maggiore.

Campione CC-A8 - colore rosa/ blu originale + ridipintura gialle (bordo dell'abito di Matteo)

Colore originale. Anche qui si notano sull'imprimatura di biacca i due strati blu sovrapposti: il fondo più chiaro con azzurrite, con incluse delle particelle di lacca rossa, e la stesura soprastante con lapislazzuli.

Il blu appare in parte velato da uno strato rosa chiaro composto di biacca e lacca rossa. Ridipintura. Lo strato giallo superficiale è una ridipintura a base di ocra gialla e biacca.

Campione 6DM - colore incarnato originale (mano di Matteo)

Colore originale. Lo spesso strato rosato di base è composto di biacca, ocra gialla, particelle di cinabro e tracce di nero carbone; al di sopra si osserva uno strato più chiaro in cui sono state identificate la biacca, l'ocra gialla e minime tracce di cinabro.

Filippo

Campione 7 AF - colore rosso scuro originale (manto di Filippo)

Colore originale. E' composto da due strati sovrapposti di tonalità diversa: uno strato di base rosso-arancio contenente grosse particelle di ocra rossa, ocra gialla, nero vegetale e poca biacca, e una velatura sovrastante di lacca rossa.

Campione 9 CF - colore blu originale (polsino dell'abito di Filippo)

Colore originale. Sulla biacca d'imprimitura si nota uno strato grigio scuro composto di biacca e nero vegetale anche in grossi granuli. Al di sopra è visibile la stesura chiara di azzurrite fine e biacca, sulla quale si nota uno strato di lapislazzuli e biacca in parte abraso.

Campione CC-13 - colore incarnato originale + ridipintura bruna (collo di Filippo)

Colore originale. Gli strati sono regolari e omogenei; lo strato bruno chiaro più profondo, composto di biacca, ocra gialla e rossa e particelle di nero vegetale, è ricoperto da una stesura di nero vegetale: al di sopra osserva un sottile strato blu chiaro, seguito da un sottile strato di biacca con tracce di ocra gialla.

Ridipintura. È una stesura chiara di spessore molto elevato, di impasto grossolano, a base di biacca e di ocra gialla e rossa, in cui spiccano grossi granuli di nero vegetale e particelle tondeggianti di grandi dimensioni che risultano composte di bianco di titanio (pigmento entrato nell'uso dopo il 1920).

Giacomo Maggiore

Campione CC-2 - colore giallo/ verde originale + ridipintura gialla (abito di Giacomo Maggiore)

Colore originale. È composto da due strati: il più profondo, verde chiaro, risulta composto di biacca, resinato di rame, giallo di piombo e stagno e tracce di nero vegetale; lo strato sovrapposto ha composizione analoga ma il resinato di rame compare solo in tracce.

Ridipintura. È una stesura molto sottile costituita di ocra gialla e carbonato di calcio.

Campione CC-15 - colore giallo/verde originale + ridipinture (abito di Giacomo Maggiore)

Colore originale. È analogo a quello del campione precedente.

Ridipinture. Sono numerose: la più profonda, molto sottile, contiene ocra gialla e carbonato di calcio varie proporzioni; la seguente, chiara, ha in più una piccola quantità di biacca; al di sopra si nota uno spesso strato traslucido con biacca e ocra gialla; lo strato successivo è bianco con particelle verdi (biacca e terra verde); infine sulla superficie è stato applicato uno strato bruno chiaro, sottile, a base di gesso e ocra gialla.

SCHEDE DEI SINGOLI CAMPIONI

CC-A1 - colore rosa chiaro originale (bordo del manto di Simone)

- 5 - materiale tardo di consolidamento
- 4 - biacca
- 3 - biacca, lacca rossa, nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO CC-A1

BS - colore rosa originale (manto di Simone)

- 4 - lacca rossa, poca biacca, particelle di nero vegetale
- 3 - biacca, ocre gialla, tracce di laccarossa e di nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

FOTO 2BS

A2 - colore grigio originale (manto di Simone)

- 3 - biacca, nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO A2

CC-A7 - colore verde originale (veste di Taddeo)

- 3 - biacca, resinato di rame, giallo di piombo e stagno, tracce di nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO CC-A7

11 BT - colore bruno originale (veste di Taddeo)

- 3 - ocre gialla, ocre rossa, nero vegetale, poca biacca
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

FOTO 11 BT

12 CT - colore incarnato originale + ridipintura bruna (Taddeo)

- 5 - ridipintura di biacca, ocra rossa, tracce di ocra gialla e di nero vegetale
- 4 - biacca, ocra gialla, tracce di cinabro
- 3 - biacca, ocra rossa e gialla, granuli di nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

FOTO 12 CT

5CM - colore blu originale (manto di Matteo)

- 4 - biacca, lapislazzuli (grossi cristalli)
- 3 - biacca, azzurrite fine
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 5CM

CC-A8 - colore rosa/blu originale + ridipintura gialla (bordo dell'abito di Matteo)

- 6 - ridipintura di ocra gialla e biacca
- 5 - biacca, poca lacca rossa
- 4 - biacca, lapislazzuli (grossi cristalli)
- 3 - biacca, azzurrite fine
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO CC-A8

6DM - colore incarnato originale (mano di Matteo)

- 4 - biacca, ocra gialla e tracce di cinabro
- 2 - biacca, ocra gialla, cinabro, poco nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 6DM

7 AF - colore rosso scuro originale (manto di Filippo)

- 4 - lacca rossa
- 3 - ocra rossa, ocra gialla, nero vegetale e poca biacca
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 7 AF

9 CF - colore blu originale (polsino dell'abito di Filippo)

- 5 - lapislazzuli in grossi cristalli, poca biacca
- 4 - biacca, azzurrite fine
- 3 - nero vegetale, biacca
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

FOTO 9 CF

CC-13 - colore incarnato originale + ridipintura bruna (collo di Filippo)

- 8 - spessa stesura di biacca, bianco di titanio in grosse particelle, ocra gialla e rossa, granuli neri
- 7 - sottile strato organico (olio)
- 6 - biacca, poca ocra gialla
- 5 - biacca, particelle blu
- 4 - nero vegetale
- 3 - biacca ocra gialla, ocra rossa, nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

FOTO CC-13

CC-2 - colore giallo/verde originale + ridipintura gialla (abito di Giacomo Maggiore)

- 5 - sottile strato di ocre gialla e carbonato di calcio (ridipintura)
- 4 - biacca, giallo di piombo e stagno
- 3 - biacca, resinato di rame, giallo di piombo e stagno, particelle di nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

FOTO CC-2

CC-15 - colore giallo/verde originale + ridipinture (abito di Giacomo Maggiore)

- 9 - sottilissimo strato bruno chiaro di gesso con ocra gialla (ridipintura)
- 8 - strato di biacca, ocra gialla e terra verde (ridipintura)
- 7 - strato traslucido con biacca e ocra gialla (ridipintura)
- 6 - sottile strato giallo chiaro di biacca, ocra gialla, carbonato di calcio (ridipintura)
- 5 - sottile strato di ocra gialla e carbonato di calcio (ridipintura)
- 4 - biacca, giallo di piombo e stagno
- 3 - biacca, resinato di rame, giallo di piombo e stagno, particelle di nero vegetale, tracce di lamina d'oro
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

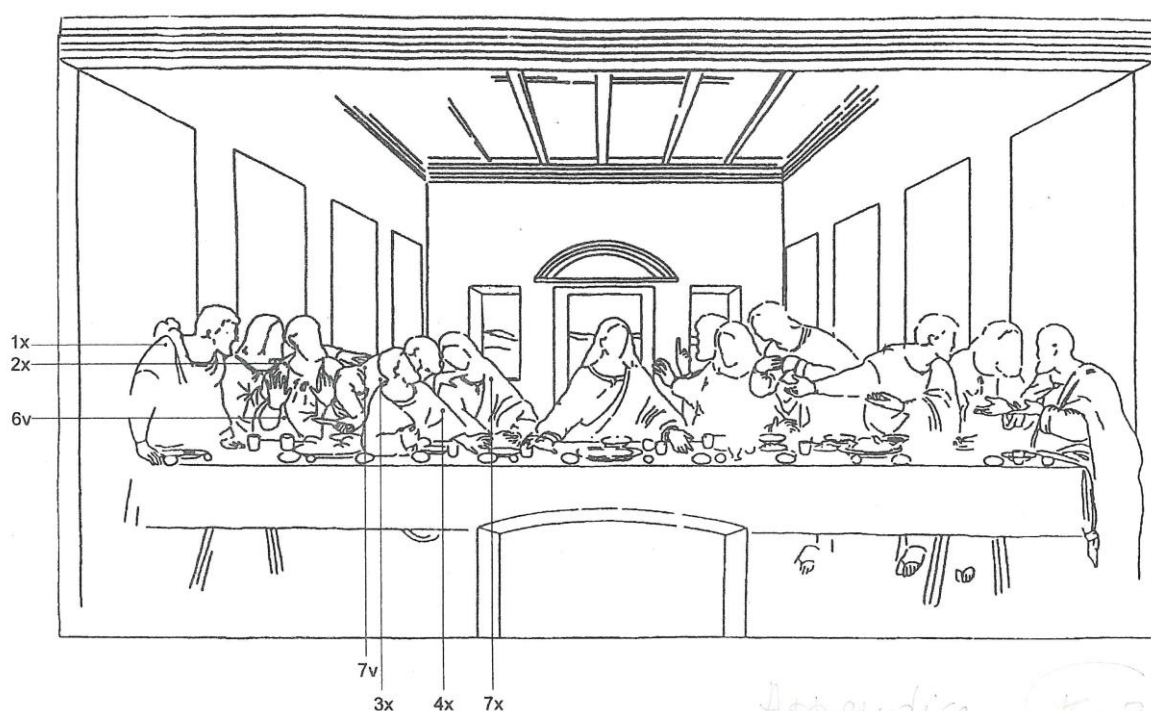
FOTO CC-15

6.2 APOSTOLI ALLA DESTRA DEL CRISTO:
BARTOLOMEO, ANDREA, PIETRO, GIUDA,
GIOVANNI

ELENCO DEI CAMPIONI

- 1x - preparazione + materiale bruno posteriore infiltrato + imprimitura + colore verde originale + ridipintura verde e materiale bruno di restauro (manto di Bartolomeo)
 2x - preparazione + ridipintura verde (manto di Andrea)
 6v - preparazione + imprimitura + colore blu originale (bordo del manto di Andrea)
 3x - preparazione + imprimitura + colore blu originale (manto di Pietro)
 7v - preparazione + imprimitura + colore blu chiaro originale (manto di Pietro)
 4x - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipintura giallognola (manto di Giuda)
 7x - preparazione + imprimitura + colore rosso originale + due ridipinture rosse (veste di Giovanni)

In Fig. 3A si riporta la mappa dei prelievi.

**Verde**

Campione 1x - preparazione + imprimitura + colore verde originale + ridipinture: verde e bruno (manto di Bartolomeo)

Colore originale. Due frammenti di verde originale, composto di resinato di rame e biacca con particelle di giallo di piombo e stagno a destra e a sinistra della crepa, sopra la biacca d'imprimitura. ("...se misti poi giallo col verde, esso si fa più bello") (2).

Ridipinture. Nella ridipintura verde a base di verderame, stesa un fondo di nero vegetale, soprastante il verde originale, è stato identificato il giallo di antimONIO - noto come "giallo di Napoli" - un antimoniato di piombo in cui alcuni riconoscono vagamente il "giallorino" menzionato dal Cennino Cennini. Noto fin dall'antichità e in seguito abbandonato, è stato individuato di recente in dipinti del XVII secolo, epoca in cui sembrerebbe eseguita la ridipintura.

Un materiale bruno di restauro, composto da carbonato di calcio, nero vegetale, ocre rosse, steso in superficie appare infiltrato all'interno in un'ampia crepa e sulla preparazione.

Campione 2x - ridipintura verde (manto di Andrea)

Analoga composizione ha la ridipintura verde stesa su un fondo di nero vegetale. Tra questi due strati si nota del materiale bruno di restauro infiltrato dalla superficie contenente carbonato di calcio e nero vegetale. Segue la preparazione.

Blu**Campioni:**

6v - preparazione + imprimitura + colore blu originale (bordo del manto di Andrea)

3x - preparazione + imprimitura + colore blu originale (manto di Pietro)

7v - preparazione + imprimitura + colore blu chiaro originale (manto di Pietro)

Colore originale: i campioni provengono dalla cromia originale. Nella sezione si osserva sull'imprimitura un sottile strato blu chiaro composto di azzurrite fine e biacca, sul quale è applicato uno strato del prezioso blu di lapislazzuli in grosse particelle unite a biacca. Nei blu scuri lo strato di azzurrite è molto sottile e il colore cupo e profondo del lapislazzuli è dominante.

Tutti i blu della Cena - abiti, ricami della tovaglia, il cielo del paesaggio inquadrato dalle finestre, arazzi - hanno questa composizione e questa stratigrafia, che è conforme alla tradizione.

Fa eccezione il blu del manto di Giuda - Campione 4x - per il quale non è stato impiegato il prezioso blu di lapislazzuli, ma soltanto l'azzurrite, stesa su un fondo grigio scuro composto di nero vegetale unito a poca biacca. Nel blu vi sono tracce di lacca rossa per donargli "un poco di colore" e "rispondesse violante" (Cennini) (3).

Sotto il colore si osservano l'imprimitura e la preparazione.

Rosso

Campione 7x: preparazione + imprimitura + colore rosso originale + due ridipinture rosse (veste di Giovanni)

Colore originale: Sull'imprimitura è stato applicato uno strato di lacca rossa unita a una piccola quantità di biacca e, al di sopra, uno strato rosa chiaro contenente gli stessi pigmenti ma dove la biacca è dominante; la lacca è rossa e molto abbondante nello strato superficiale.

Il campione proviene da una zona in ombra; nelle zone in luce variano le proporzioni dei pigmenti.

I rossi degli abiti, chiari e scuri ma sempre delicati, sono composti di lacca rossa e biacca, ad eccezione della veste del Cristo, figura centrale della composizione: il rosso intenso è qui ottenuto impiegando il cinabro dalla tinta viva e brillante, velato di lacca rossa traslucida per donare profondità al colore.

Ridipinture: due ridipinture successive ricoprono la cromia originale, entrambe a base di ocra rossa e biacca. Una parte di tale materiale tardo è penetrato attraverso una discontinuità della pellicola pittorica (a sinistra nella foto) in una fenditura orizzontale della preparazione, colmandola.

SCHEDE DEI SINGOLI CAMPIONI

1x - preparazione + imprimitura + colore verde originale + ridipintura verde + materiale bruno di restauro (manto di Bartolomeo)

- 7 - materiale bruno di restauro: carbonato di calcio, nero vegetale, ocra rossa
- 6 - verde di ridipintura: verderame, poca biacca, particelle di giallo di antimonio
- 5 - sottile strato di nero vegetale di base al verde soprastante (ridipintura)
- 4 - verde originale: resinato di rame, biacca, particelle di giallo di piombo e stagno (solo sull'imprimatura)
- 3 - imprimitura di biacca (solo nelle zone sinistra e destra)
- 2 - materiale bruno infiltrato dalla superficie attraverso l'ampia fenditura centrale
- 1 - preparazione

FOTO 1x

2x - preparazione + imprimitura + ridipintura verde (manto di Andrea)

- 4 - verde con particelle gialle: verderame, giallo di antimonio, biacca
- 3 - materiale bruno di restauro infiltrato: carbonato di calcio, nero vegetale
- 3 - stato di nero vegetale di base al verde
- 1 - preparazione

FOTO 2x

6v - preparazione + imprimitura + colore blu originale (bordo del manto)

- 5 - materiale nerastro di restauro
- 4 - strato blu scuro : lapislazzuli in grossi granuli, biacca
- 3 - strato azzurro chiaro: azzurrite fine, biacca
- 2 - strato bianco : biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 6V

3x - preparazione + imprimitura + colore blu originale (manto di Pietro)

- 4 - spesso strato blu: lapislazzuli in grosse particelle, poca biacca
- 3 - sottile strato azzurro chiaro: azzurrite fine, biacca
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 3x

7v - preparazione + imprimitura + colore blu chiaro originale (manto di Pietro)

- 4 - blu scuro : lapislazzuli anche in grosse particelle, biacca
- 3 - azzurro chiaro : azzurrite fine con molta biacca
- 2 - bianco : biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 7V

4x - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipintura giallognola manto di Giuda)

5 - ridipintura giallognola: nero vegetale, ocra gialla, tracce di carbonato di calcio e di biacca

4 - strato blu chiaro : azzurrite fine, biacca, rare particelle di lacca rossa

3 - strato grigio : granuli di nero, biacca

2 - biacca d'imprimitura

1 - preparazione

Foto 4x

7x - preparazione + imprimitura + colore rosso originale + due ridipinture rosse (manto di Giovanni)

- 6 - rosso scuro di ridipintura: ocra rossa, grossi granuli di nero vegetale, biacca
- 5 - rosso leggermente arancio di ridipintura, di grana pi- fine: ocra rosso-arancio, biacca, nero vegetale
- 4 - sottile strato rosso chiaro: lacca rossa con molta biacca (originale)
- 3 - spesso strato rosso: lacca rossa con poca biacca (originale)
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1'- preparazione
- X - rosso arancio (v. strato 5) penetrato in una fenditura orizzontale della preparazione
- 1 - preparazione di carbonato di calcio con carbonato di magnesio

FOTO 7x

6.3 - SOFFITTO A CASSETTONI, PARETI, ARAZZI

ELENCO DEI CAMPIONI

Soffitto a cassettoni:

8c - preparazione + imprimitura + colore nero originale + ridipinture (III riquadro da sinistra)

Parete destra:

4R - preparazione + imprimitura + colore bianco originale (tra il primo e il secondo arazzo da destra)

Parete centrale:

1p - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipintura bruna (paesaggio)

3R - preparazione + imprimitura + colore grigio originale + ridipintura bruno-rossiccia (fondo sopra la finestra di sinistra)

Arazzi: parete destra, primo arazzo da destra

C-B - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipinture

D-R - colore verde e colore rosso (ridipinture)

Arazzi: parete sinistra, primo arazzo da sinistra

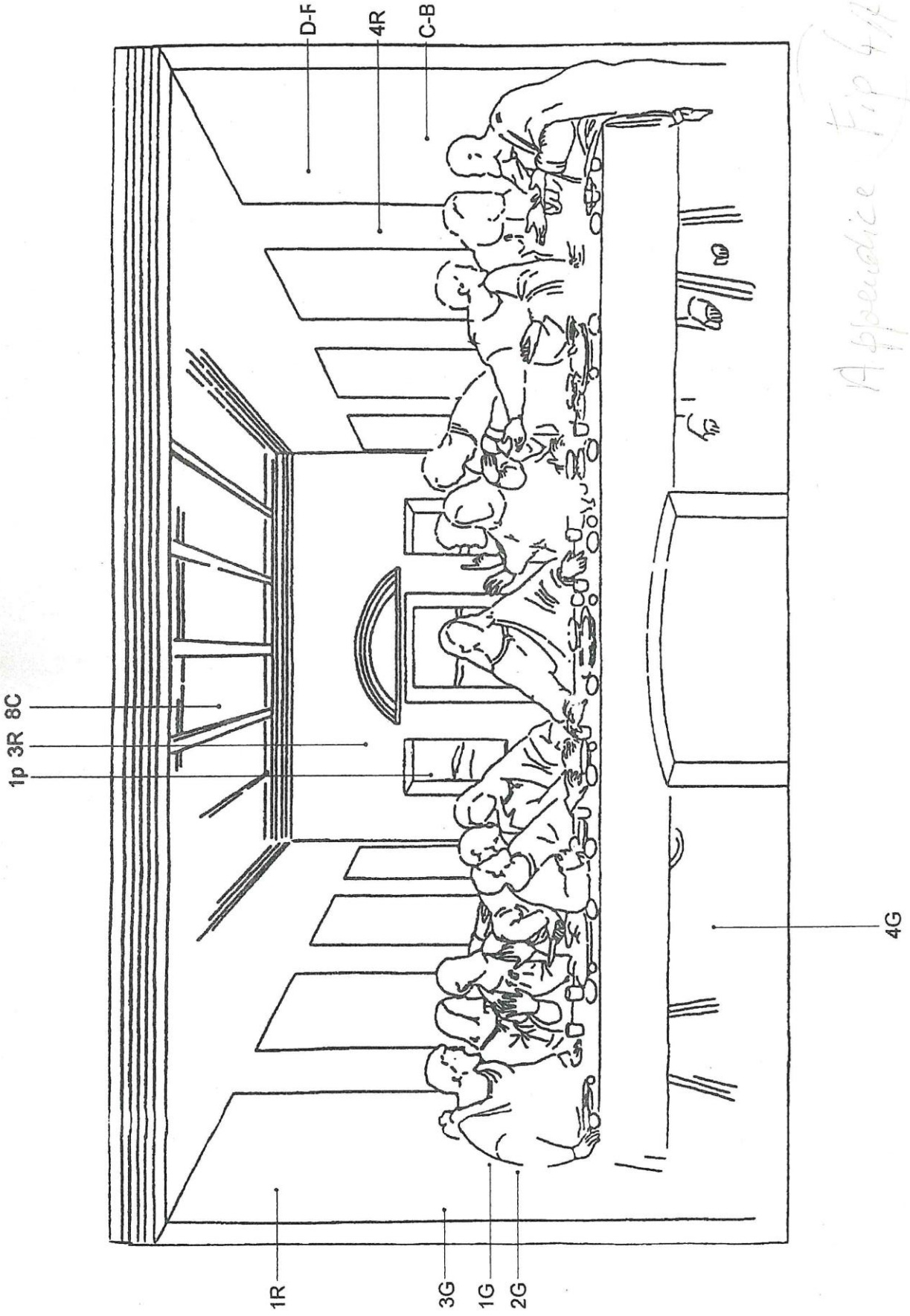
1R - preparazione + imprimitura + colore azzurro originale + ridipintura rossa e materiale bruno-rossiccio di restauro

1G - preparazione + imprimitura + ridipintura bruno-nerastra (fondo a sinistra di Bartolomeo)

2G - preparazione + imprimitura + ridipintura bruno-nerastra (fondo a sinistra di Bartolomeo più in basso)

3G - preparazione + imprimitura + ridipintura bruno-nerastra (fondo a sinistra di Bartolomeo più in alto verso il margine)

In Fig. 4A si riporta la mappa dei prelievi.



Appendix Fig 6A

Soffitto a cassettoni**Campione 8c - preparazione + imprimitura + colore nero originale + ridipinture (III riquadro da sinistra)**

Ridipinture: sul colore originale si osservano due ridipinture sovrapposte in cui sono stati identificati il nero vegetale, la biacca e il carbonato di calcio: sono separate da uno strato di carbonato di calcio con tracce di biacca, di impasto grossolano, che rende molto friabile il materiale prelevato.

Colore originale: è lo strato bruno rossiccio, sovrastante la biacca d'imprimitura, stesa sulla preparazione, composto di nero vegetale unito a una piccola quantità di biacca e di ocra rossa.

Parete destra**Campione 4R - preparazione + imprimitura + colore bianco originale (tra il primo e il secondo arazzo da destra)**

Ridipintura (?): uno strato di biacca che ricopre parzialmente la stesura grigia originale
Colore originale: strato di colore grigio chiaro composto di biacca con minutissime particelle nere.

Seguono l'imprimitura e la preparazione.

Parete centrale.**Campione 1p - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipintura bruna (paesaggio finestra di sinistra)**

Ridipintura: sottile strato di materiale bruno tardo sovrastante il colore originale, infiltratosi anche nella discontinuità della pellicola pittorica (a sinistra della foto); risulta composto di carbonato di calcio, biacca, nero vegetale e ocra gialla.

Colore originale: strato di lapislazzuli e biacca sovrastante una spessa stesura di azzurrite e biacca.

Seguono l'imprimitura e la preparazione.

Campione 3R: preparazione + imprimitura + colore grigio originale + ridipintura bruno-rossiccia (fondo sopra la finestra di sinistra).

Ridipintura: strato molto spesso di carbonato di calcio, caseato di calcio, ocra rossa e nero vegetale.

Colore originale: uno strato di nero vegetale originale.

Seguono l'imprimitura e la preparazione.

Arazzi: parete destra, primo arazzo da destra**Campione C-B - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipinture**

Ridipintura: materiale di restauro bruno-rossiccio, infiltrarsi attraverso la discontinuità della superficie tra l'imprimitura di biacca e lo strato blu: è composto di ocra, nero vegetale e biacca.

A destra nella foto si notano tracce di una ridipintura superficiale di ocra rossa, analoga a quella visibile nel campione D-R.

Colore originale: strato blu chiaro composto di biacca, azzurrite e particelle di lapislazzuli.

Seguono l'imprimitura e la preparazione.

Campione D-R - preparazione + imprimitura + colore verde e colore rosso (ridipinture)

Ridipinture: strato verde discontinuo composto di verderame, biacca e particelle di ocra gialla sovrastante l'imprimitura di biacca.

Accanto allo strato verde e al di sopra è visibile si osserva uno strato di nero vegetale. La superficie è stata ridipinta con ocra rossa.

Seguono l'imprimitura e la preparazione.

Arazzi: parete sinistra, primo arazzo da sinistra

Campione 1R - preparazione + imprimitura + colore azzurro originale + ridipintura rossa e materiale di restauro bruno-rossiccio

Ridipintura: strato rossiccio soprastante composto di biacca e ocra rossa.

Colore originale: strato di azzurrite e biacca con particelle di lapislazzuli, gi... notato nel campione C-B.

Seguono l'imprimitura e la preparazione.

I campioni 1G, 2G e 3G, prelevati dall'arazzo nella zona a sinistra di Bartolomeo, sono stati oggetto dell'indagine sui leganti esposta in precedenza, alla quale rimandiamo.

In essi non si sono trovate tracce del colore originale. Nel materiale tardo applicato sulla superficie del campione 1G è stato identificato il caseato di calcio.

Si riportano le fotografie delle sezioni trasversali di alcuni campioni prelevati dal soffitto a cassettoni, dalle pareti e dagli arazzi, in alcuni dei quali si osserva il colore originale.

SCHEDE DEI SINGOLI CAMPIONI

SOFFITTO A CASSETTONI

8c - preparazione + imprimitura + colore nero originale + ridipinture (III riquadro da sinistra)

- 5 - ridipintura: nero vegetale, biacca, poco carbonato di calcio
 - 4 - strato biancastro: carbonato di calcio con tracce di biacca e di ocra gialla
 - 3 - ridipintura grigiastra sovrastante: biacca con nero vegetale
 - 2 - strato nero di colore originale: nero, vegetale, ocra
rossa, biacca; tracce di fosforo
 - 1 - biacca d'imprimitura
- Nelle ridipinture vi è abbondanza di sostanze oleose.

FOTO 8C

PARETE DESTRA

4R - preparazione + imprimitura + colore bianco originale (tra il primo e il secondo arazzo da destra)

- 4 - biacca (ridipintura?)
- 3 - biacca con minutissime particelle nere (originale)
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 4R

PARETE CENTRALE

1p - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipintura bruna (paesaggio)

5 - sottile strato bruno di ridipintura: carbonato di calcio, biacca, tracce di oca gialla

4 - lapislazzuli, poca biacca (originale)

3 - biacca, azzurrite fine (")

2 - biacca d'imprimitura

1 - preparazione

FOTO 1p

PARETE CENTRALE

3R - preparazione + imprimitura + colore grigio originale + ridipintura bruno-rossiccia
(fondo sopra la finestra di sinistra)

- 4 - grigio scuro: carbonato di calcio, caseato di calcio, nero carbone (materiale tardo)
- 3 - biacca, nero carbone (originale)
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO 3R

ARAZZI: PARETE DESTRA, PRIMO ARAZZO DA DESTRA

C-B - preparazione + imprimitura + colore blu originale + ridipinture

- 5 - ridipintura di ocra rossa (tracce)
- 4 - biacca, azzurrite, qualche particella di lapislazzuli (originale)
- 3 - nero-rossiccio infiltrato: nero vegetale, tracce di ocra rossa
nero vegetale
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO C-B

ARAZZI: PARETE DESTRA, PRIMO ARAZZO DA DESTRA

D-R - preparazione + imprimitura + colore verde e colore rosso (ridipinture)

- 5 - ridipintura di ocra rossa con carbonato di calcio
- 4 - verde di rame, ocra gialla, biacca (ridipintura)
- 3 - strato di nero vegetale (discontinuo) (")
- 2 - biacca d'imprimitura
- 1 - preparazione

FOTO D-R

ARAZZI: PARETE SINISTRA, PRIMO ARAZZO DA SINISTRA

1R - preparazione + imprimitura + colore azzurro originale + ridipintura rossa e materiale di restauro bruno-rossiccio

- 5 - bruno rossiccio: biacca, ocra rossa (ridipintura)
- 4 - bianco + blu: biacca, azzurrite, particelle di lapislazzuli (originale)
- 3 - nero vegetale
- 2 - imprimitura (tracce)
- 1 - preparazione

FOTO 1R

7. STUCCHI

Sono stati analizzati tre tipi di stucco, presenti in molte zone della superficie dipinta:

1St - rosso
2St - nero
3St - grigio

4St - stuccatura di cera (zona centrale della cena)

Gli stucchi hanno composizione diversa:

- il primo carbonato risulta composto di calcio con carbonato di magnesio, colorato con ocra rossa:
- il secondo contiene gesso con ocra gialla e rossa, nero vegetale e una piccola quantità di terra d'ombra
- il terzo è composto di gesso con caseato di calcio, abbondante nero vegetale e poca ocra gialla

Dal materiale di stuccatura 4St è stata estratta la cera per riscaldamento de campione e verificata la sua presenza dal valore del punto di fusione (termocoppia Cr-Al). Il residuo inorganico è stato analizzato per fluorescenza X.

La composizione degli stucchi, determinata mediante l'analisi per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica, è riportata nella Tabella I (cfr. anche le "Schede dei singoli campioni").

Nelle Schede di riportano le foto delle sezioni di tre campioni di colore originale con inclusioni o sovrapposizioni di stucco:

CC-19 - blu originale dalla manica del manto di Matteo con infiltrazioni di stucco rosso

CC-3 - verde originale dall'abito di Giacomo Maggiore incluso in stucco grigiastro

CC-7 - rosso scuro dall'abito di Filippo con ridipinture e stucco rosso sovrarmesso

TABELLA I

Analisi per fluorescenza di raggi X (microsonda elettronica)

Campione	Elementi rivelati	composti identificati
1St - stucco rosso		
2 - strato rosso	Al, Mg, Si, Pb, Cl, K, Ca, Mn, Fe", (Cu)Ca", (Si), (K)	ocra rossa, terra d'ombra, biacca, carbonato di calcio, carbonato di magnesio, azzurrite (tracce)
1 - strato bianco	Al, Mg, Ca", (Si), (K)	carbonato di calcio con carbonato di magnesio
2St - stucco nero		
impasto nero - rossiccio:	Al, Si, S, Ca, Mg, Fe, (Mn), (Ti)	ocra gialla e rossa, nero vegetale, gesso, silicati, tracce di terra d'ombra
3St - stucco grigio		
impasto grigio	Si, (P), S, Ca, Fe	gesso, caseato di calcio, nero vegetale, ocra gialla e rossa
4St - stuccatura con cera		
residuo secco	Al, Si, Pb, Ca, (S)	biacca, silicati di alluminio, (probabili tracce di solfato di calcio)

STUCCHI

Schede dei singoli campioni

1St - stucco rosso

2 - strato rosso: ocra rossa, terra d'ombra, biacca, carbonato di calcio, carbonato di magnesio, azzurrite (tracce)

1 - strato bianco spesso: carbonato di calcio con carbonato di magnesio

FOTO 1St

Nella sezione del campione è visibile uno spesso strato bianco di fondo (1), composto di carbonato di calcio con carbonato di magnesio.

Lo strato di stucco rosso soprastante (2), con una lunga fenditura longitudinale, è un impasto omogeneo di ocra rossa, terra d'ombra, biacca, carbonato di calcio con carbonato di magnesio e tracce di azzurrite.

2St - stucco nero

- impasto nero-rossiccio: ocra gialla e rossa, nero vegetale, gesso, silicati, tracce di terra d'ombra

FOTO 2St

Lo stucco appare come un impasto grossolano nero-rossiccio con particelle di granulometria media e fine.

Risulta composto di gesso, nero vegetale, ocra gialla ocra rossa, silicati e una piccola quantità di terra d'ombra.

3St - stucco grigio

impasto grigio: gesso, caseato di calcio, nero vegetale, ocra gialla e rossa

FOTO 3St

L'impasto è grossolano e disomogeneo con grossi agglomerati bianchi e granuli gialli, e zone in cui prevalgono minute particelle nere. Risulta composto di gesso e caseato di calcio con ocra gialla e nero vegetale.

CC-19 - blu originale dalla manica del manto di Matteo con infiltrazioni di stucco rosso

FOTO CC -18

La foto mostra lo stucco rosso penetrato attraverso le discontinuità della pellicola pittorica fino a raggiungere la preparazione.

CC-3 - verde originale dall'abito di Giacomo Maggiore incluso in stucco grigiastro

FOTO CC-3

Nella foto della sezione si osservano tre frammenti sottili di pellicola pittorica - imprimitura di biacca e strato di colore verde originale sovrapposto - inclusi in uno strato molto spesso di stucco grigiastro.

CC-7 - rosso scuro dall'abito di Filippo con ridipinture e stucco rosso sovrapposto

Foto CC-7

La fotografia della sezione del campione mette in evidenza lo spessore assai elevato del materiale di restauro (stucco rosso e strato chiaro sovrastante) rispetto a quello del colore (originale + ridipintura) visibile sull'imprimitura di biacca.