



Copia mostra

POLITECNICO DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

LO STUDIO DELLA PREPARAZIONE
E DELLA BIACCA DI IMPRIMITURA
SU ALCUNI CAMPIONI PRELEVATI
DALL'ULTIMA CENA DI LEONARDO
DA VINCI

(Antonietta Gallone)

RELAZIONE II, Milano 13/6/1995



POLITECNICO DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

20133 MILANO (ITALY)

Piazza Leonardo da Vinci n. 32
Tel. 02-2399.6100-2399.6140-2399.6141
Telex 333467 POLIMI-I
Fax 02-2399.6126
Cod. Fiscale N 80057930150
Partita I V A N. 04376620151

LO STUDIO DELLA PREPARAZIONE E DELLA BIACCA DI
IMPRIMITURA SU ALCUNI CAMPIONI PRELEVATI DALL'*ULTIMA*
CENA DI LEONARDO DA VINCI

(Antonietta Gallone)

RELAZIONE II

(Milano 13/6/1995)

INDICE

1	- Introduzione	p. 1
2	- Metodologie analitiche	p. 6
2.1	- Metodi di analisi	p. 6
2.1.1	- L'analisi alla microsonda elettronica	p. 6
2.1.2	- L'analisi microspettrofluorimetrica	p. 7
2.1.3	- Le prove di colorazione	p. 10

PARTE I

3	- Risultati.....	p. 11
3.1	- Analisi dei campioni aG	p. 11
3.1.1	- Determinazione dei composti inorganici ..	p. 12
3.2	- Individuazione dei leganti organici	p. 16
4	- Conclusione	p. 21
	- Appendice	p. 23
	- Bibliografia	p. 25

Schede - Campioni aG

PARTE II

Schede: Campioni aG₁^k

LO STUDIO DELLA PREPARAZIONE E DELLA BIACCA DI
IMPRIMITURA SU ALCUNI CAMPIONI PRELEVATI DALL'*ULTIMA*
CENA DI LEONARDO DA VINCI

(Antonietta Gallone)

1. INTRODUZIONE

All'inizio dei lavori di restauro del Cenacolo Vinciano erano state da me eseguite, per incarico della Soprintendenza per Beni Artistici e Storici di Milano, 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 e i risultati presentati nella *Relazione I* (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 microspettrofotometria applicate all'analisi della materia pittorica di dipinti - in particolare dei leganti (3) - si erano analizzati alcuni campioni di colore dell'*Ultima Cena* che erano stati 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 i leganti.

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

Lo studio che si presenta in questa relazione, eseguito su altri campioni, estende e approfondisce l'indagine precedente, mostrando tra l'altro come allora si fossero messi in luce solo alcuni aspetti di una situazione rivelatasi molto complessa.

Il prelievo di nuovi campioni dalla zona sinistra del dipinto ci fornisce l'occasione di continuare l'indagine mediante tecniche analitiche più avanzate applicate all'individuazione dei leganti, da noi messe a punto recentemente.

Lo studio che presentiamo riguarda i primi quattro dei sette campioni da analizzare entro il 1995.

Questi campioni ci sono stati consegnati nell'ottobre del 1994. I tre rimanenti saranno prelevati in seguito, tenendo conto dei risultati delle presenti analisi. La zona di prelievo è quella a sinistra del Cristo verso la parete, non ancora restaurata (Fig. 1).

Scopo delle analisi è di ottenere una mappatura stratigrafica dei composti inorganici e dei leganti che compongono la preparazione e la materia pittorica, nell'intento di verificare ipotesi riguardanti le condizioni iniziali e l'evolversi del degrado.

Il lavoro presentato è preceduto da una descrizione delle metodologie analitiche impiegate - e dei relativi apparati sperimentali - con particolare riguardo a quelle innovative applicate all'identificazione dei leganti organici.

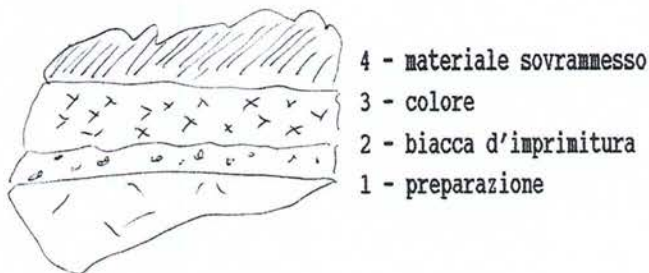
L'indagine si è svolta in due fasi:

- 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 per i leganti e prove di colorazione su microframmenti

- 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.

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



Schema stratigrafico di un campione

Dall'indagine svolta risulta quanto segue:

- *composti inorganici:*

la composizione della preparazione non differisce da quanto era stato determinato in precedenza: carbonato di calcio con presenza di carbonato di magnesio e tracce di quarzo

- *leganti originali:*

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

L'incertezza sulla biacca, stesa in uno strato molto sottile (10-15 μ m), è dovuta all'elevato inquinamento. 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 1 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

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

2 - METODOLOGIE ANALITICHE

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

2. 1 - *Metodi di analisi*

Sono state impiegate le seguenti tecniche analitiche:

- esame morfologico al microscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione (SEM)
- 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 poliestere*)
- analisi microspettrofluorimetrica (*sulle medesime sezioni*)
- prove di colorazione con reagenti specifici per i leganti

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 (4). Per la preparazione sono stati determinati i rapporti Si/Ca e Mg/Ca.

Strumentazione. E' 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 poliestere, sezionati e levigati, in modo da portare in vista la sezione trasversale della pellicola pittorica e la preparazione sottostante (5).

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 Bottioli, 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 (3) 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 di colore prelevati circa quindici anni fa dal dipinto nel corso del suo restauro.

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 (6).

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.

In occasione di un recente studio su affreschi quattrocenteschi (7) abbiamo analizzato 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.

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*

Eseguite sulle sezioni dei campioni hanno consentito di visualizzare le zone in cui erano presenti leganti proteici - colla animale, uovo - e sostanze oleose.

La tecnica basata sull'impiego dei coloranti è stata storicamente la prima ad essere proposta. Presso il Laboratoire de Recherche des Musées de France (8), si è messa a punto una metodologia atta alla rivelazione puntuale di leganti particolari (colla animale, uovo, olio) contenuti nel colore. La prova si esegue sulle sezioni sottili. Non è distruttiva per il campione, ma non consente di riutilizzarlo per altri tipi di analisi.

3 - RISULTATI

3.1 - Parte I: analisi dei campioni aG

Come di è detto, 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

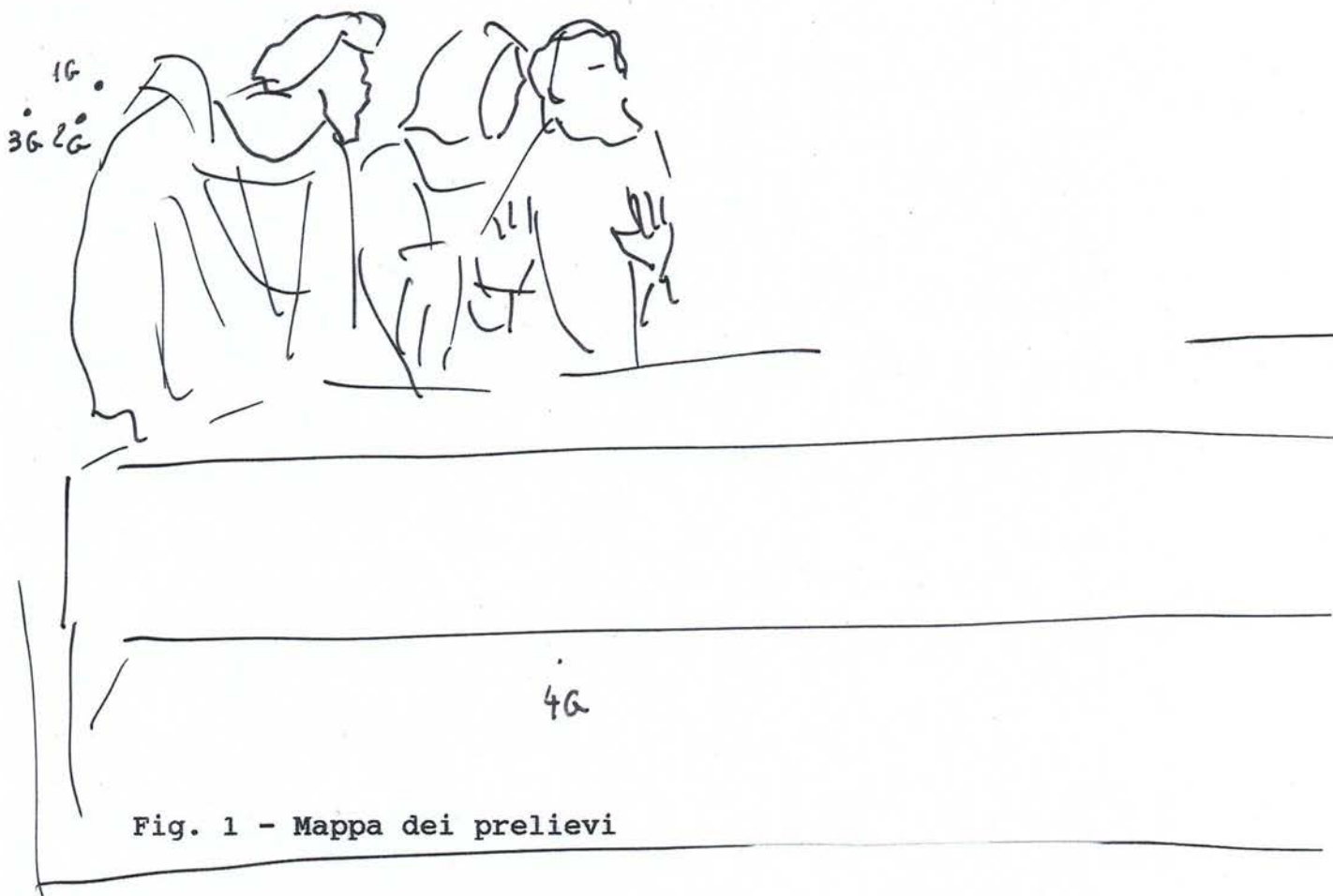
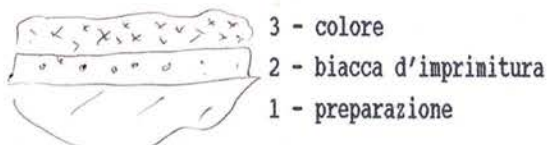


Fig. 1 - Mappa dei prelievi

3.1.1 - 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. Nel campione 4G si è analizzato anche il colore.



La Tabella I presenta i risultati dell'analisi.

TABELLA I

Analisi per fluorescenza X (microsonda elettronica)

strati	elementi rivelati	sostanze identificate
2 - biacca	(Si), Ca, Pb ⁿ	biacca, presenza di carbon. di calcio, tracce di silicio
1 - prepar.	Mg, (Al), (Si), Ca ⁿ	carb. di calcio, pres.di 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 (SiO₂) 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; al di sotto dello 0.01%, limite di sensibilità dello strumento per 1/G_A.
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

- 4 - materiale bruno di restauro (130 µm)
- 3 - ridipintura verde (30-40 µm)
- 2 - biacca con infiltrazioni di materiale bruno (10-15 µm)
- 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, 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')

14/15

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

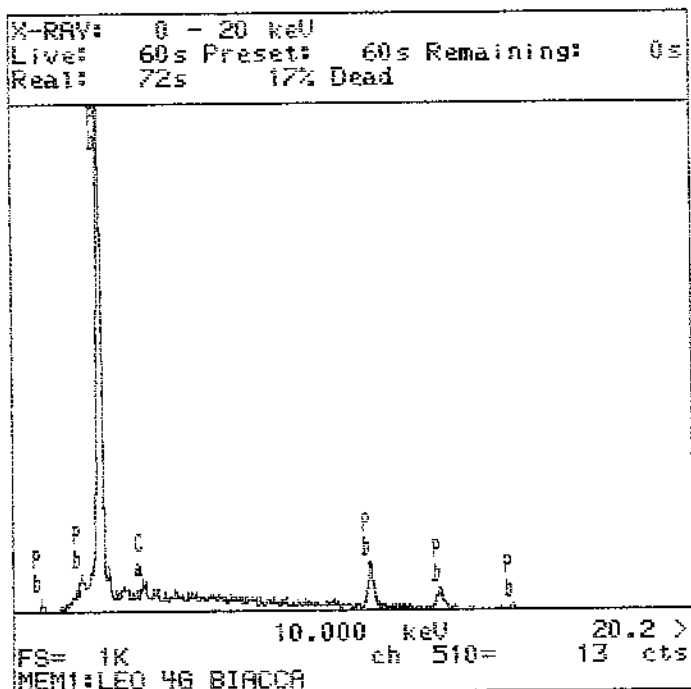
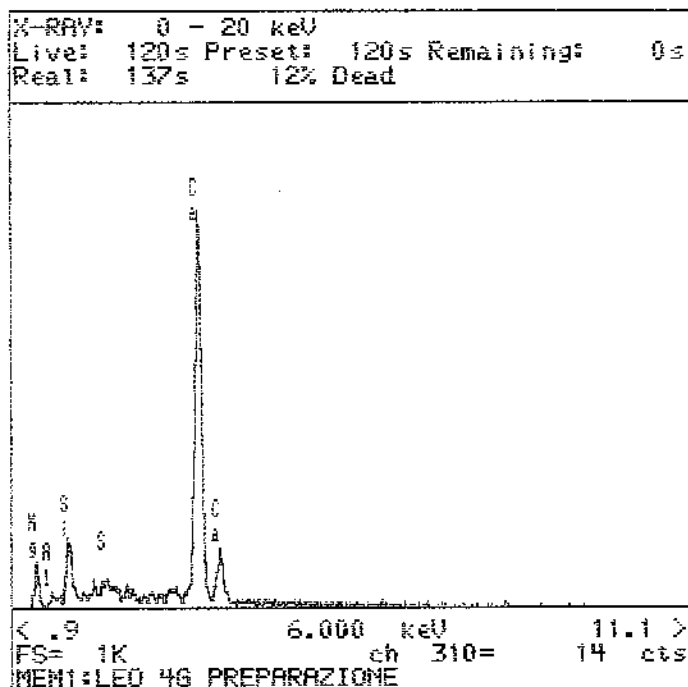


Fig. - Campione G4: spettri di fluorescenza X

Campione 4G

Lo strato di colore grigio risulta composto di biacca con particelle di nero carbone.

Elementi rivelati: Pb⁺, Ca, (Si)

Nella fotografia eseguita al microscopio elettronico, sono visibili lo strato di biacca e quello sovrastante, molto più spesso, di colore.

Più sotto lo spettro di fluorescenza X.

OSSERVAZIONI SUL COLORE

Verde

Probabilmente originale è il lo strato verde osservato nel campione 1G.

I pigmenti individuati sono:

- resinato di rame
- giallo di piombo e stagno
- biacca

Nello strato è stata identificata anche la caseina (materiale di restauro)

Oss. La composizione del verde è analoga a quella osservata nelle lunette e nell'abito di S. Giacomo. Tracce dello stesso verde sono visibili anche nel campione 2G.

Grigio

Risulta composto di:

- biacca
- nero carbone

E' probabilmente originale. Ha composizione analoga a quella dello strato grigio chiaro, sovrastante la biacca d'imprimatura, osservato nella tovaglia.

3.2 - 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.

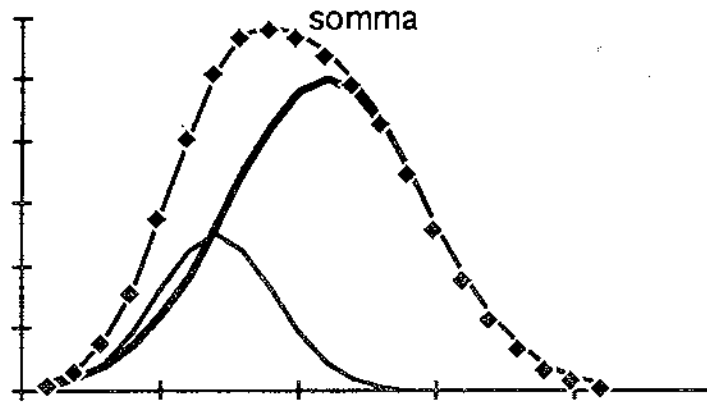


Fig. 3 - Convoluzione di due gaussiane:

----- 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:

<u>preparazione</u>	λ_{max} (nm)	
legante		
colla (di restauro)	455	(crepe larghe)
olio (di restauro)	487/89	(crepe larghe)
uovo/colla + olio	473-82	nel materiale
uovo (originale)	-----	
<u>biacca</u>		
in prossimità della preparazione	773	
all'interno dello strato	468	
in prossimità del colore	465	
<u>colore</u>		
punti diversi	450/458	

MODELLI STANDARD

biacca + colla di coniglio	$\lambda_{\max} = 438-440 \text{ nm}$
biacca + uovo	$\lambda_{\max} = 458-460 \text{ nm}$
biacca + olio di lino	$\lambda_{\max} = 491-493 \text{ nm}$

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.

I risultati relativi sono riportati nella PARTE II.

CONCLUSIONE

Sono stati analizzati alcuni campioni prelevati prima della pulitura dalla superficie dell' "Ultima Cena", al fine di determinare la natura e la distribuzione spaziale delle sostanze organiche e inorganiche che compongono preparazione e colore. I microframmanti provengono dal fondo bruno-nerastro intorno ai Santi Bartolomeo e Andrea.

Dalle osservazioni al microscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.), dall' analisi stratigrafiche per fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica (E.P.M.A.), dall' analisi microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.) e dalle prove di colorazione - con reagenti specifici per sostanze proteiche e oleose (colle, uovo, olio) - si sono ottenuti i seguenti risultati:

- la *superficie* del dipinto è scabra, con fessurazioni, crepe profonde, discontinuità e sollevamenti a scodella.

Appare ricoperta da uno spesso strato bruno di materiale tardo, sovrammesso in occasione dei numerosi interventi conservativi che si sono succeduti nel tempo.

Tale materiale contiene sostanze di natura inorganica, tra il cui gesso impiegato nelle stuccature - e di natura organica quali caseina, colle animali, sostanze oleose e oleo-resinose, che si sono infiltrate in profondità inquinando la pellicola pittorica e la preparazione

- la *preparazione* è composta di carbonato di calcio con presenza di carbonato di magnesio e tracce di quarzo. Il legante originale è uovo.

Per avere conferma di questo risultato si sono analizzati con la tecnica microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.) alcuni campioni prelevati in precedenza (1982) dalla zona di destra e preparati per inglobamento in resina per le indagini allora effettuate (v. RELAZIONE I).

In essi l'analisi M.S.F.L. ha indicato zone non inquinate, in cui è manifesta la presenza del solo uovo, e altre in cui si sono diffuse le sostanze oleose di restauro, dove si è rivelata la presenza di entrambi i leganti.

Nei campioni in esame l'inquinamento da materiali proteici appare confinato principalmente alle zone sottostanti il colore.

Le sostanze oleose si sono diffuse fino alle regioni più profonde della preparazione.

Le analisi hanno indicato ovunque la presenza di uovo - legante originale - e di sostanze oleose tarde, in proporzioni diverse a seconda dell'entità dell'inquinamento.

- la *biacca*. Stesa sulla preparazione come sottile strato d'imprimatura (10-15 um) risulta anch'essa molto inquinata. A volte si notano infiltrazioni di materiale bruno all'interno dello strato.

Solo in pochi punti si è rivelata la presenza del legante originale, che risulta di natura proteica ed è probabilmente uovo.

L'estensione delle indagini ad altre zone del dipinto potrebbe confermare questa ipotesi

- il *colore*. In tre campioni si sono osservate tracce di colore, probabilmente originale, soprastante la *biacca* d'imprimatura: verde in due di essi, grigio nel terzo. Il verde è composto di resinato di rame misto a giallo di piombo e stagno, il grigio è di *biacca* e nero carbone. Qui il legante risulta proteico, ma solo un esame più esteso e approfondito potrebbe condurre a una più precisa identificazione. Inoltre si potrebbe verificare se sia l'unico legante impiegato dall'artista.

APPENDICE

CAMPIONI VECCHI (1982)

- blu della tovaglia
- rosso del manto di S. Simone
- blu della manica di S. Matteo
- verde dell'abito di S. Giacomo

Poiché i campioni aG esaminati sono risultati molto inquinati e la biacca, per l'esiguità del suo spessore e le pesanti sovrarmissioni, frammentata e sede di infiltrazioni, si è deciso di analizzare alcuni campioni vecchi dall'aspetto integro, per avere ulteriori indicazioni sulla natura dei leganti.

I campioni erano stati prelevati in occasione del restauro della zona destra del dipinto, Inglobati in resina si erano analizzati con le tecniche X.R.D. e E.P.M.A., determinandone la composizione e la distribuzione spaziale dei composti organici e inorganici.

Su di essi abbiamo eseguito l'analisi - non distruttiva - microspettrofluorimetrica (M.S.F.L.), i cui risultati sono riportati in Tabella IV.

TABELLA VI

(analisi microspettrofluorimetrica - λ_{\max} in nm)

campione	preparazione	biacca	colore
1 - blu tovaglia	465	468-70	blu: 450 grigio: 457
2 - rosso manto S.Simone	465	473	bianco: 438-448 (2 picchi) lacca rossa: 603-5
3 - blu manica S.Matteo	477-78	471	blu: 461
4 - verde abito S.Giacomo	462 sotto la biacca 469-2 altrove	460	verde: 449

da cui:

preparazione:	461-65	uovo
	470-78	uovo + olio
biacca:	460	uovo
	468-73	uovo + olio
colore:	legante proteico (da definire)	
	~450	

BIBLIOGRAFIA

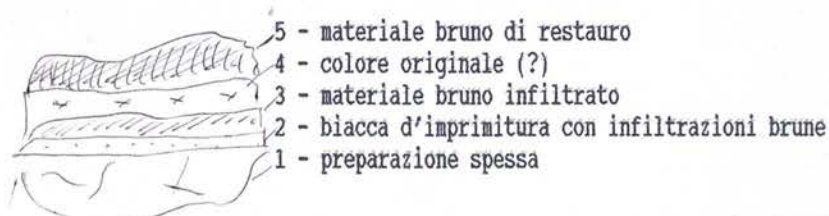
- 1 - A. Gallone, *Analisi chimico-fisiche*, in " P.Brambilla Barcilon, P. C. Marani "Le lunette di Leonardo nel refettorio delle Grazie", Milano 1990, pp.80-81
- 2 - A. Gallone, *Relazione I: " L'Ultima Cena di Leonardo da Vinci: lo studio analitico dell'intonaco, della preparazione e del colore"*, (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. 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
- 5 - J. Plesters, *Cross-Section and Chemical Analysis of Paint Samples*, *Studies in Conservation*, 2, 1956, pp. 110-157
- 6 - 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
- 7 - 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 (in corso di stampa)
- 8 - E. Martin, *Some Improvement of Analysis of Paint Media*, *Studies in Conservation*, 22, 1977, pp. 63-67

CAMPIONI 1G

schede

Campione 1G

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



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	$\lambda_{\max} = 477 \text{ nm} *$
biacca:	$\lambda_{\max} = 473 \text{ nm}$
crepa	$\lambda_{\max} = 455 \text{ nm}$

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 $\lambda_{\max} = 455 \text{ nm}$ 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 ($\lambda_{\max} \geq 491 \text{ nm}$) **
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.

In Fig. 1 si riportano gli spettri di fluorescenza.

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

** - campione standard olio	$\lambda_{\max} 491 \text{ nm}$
- Tiziano:	$\lambda_{\max} 493 \text{ nm}$
- pittore olandese (XVI sec.)	$\lambda_{\max} 491 \text{ nm}$

David Vinckboons (1576-1623)

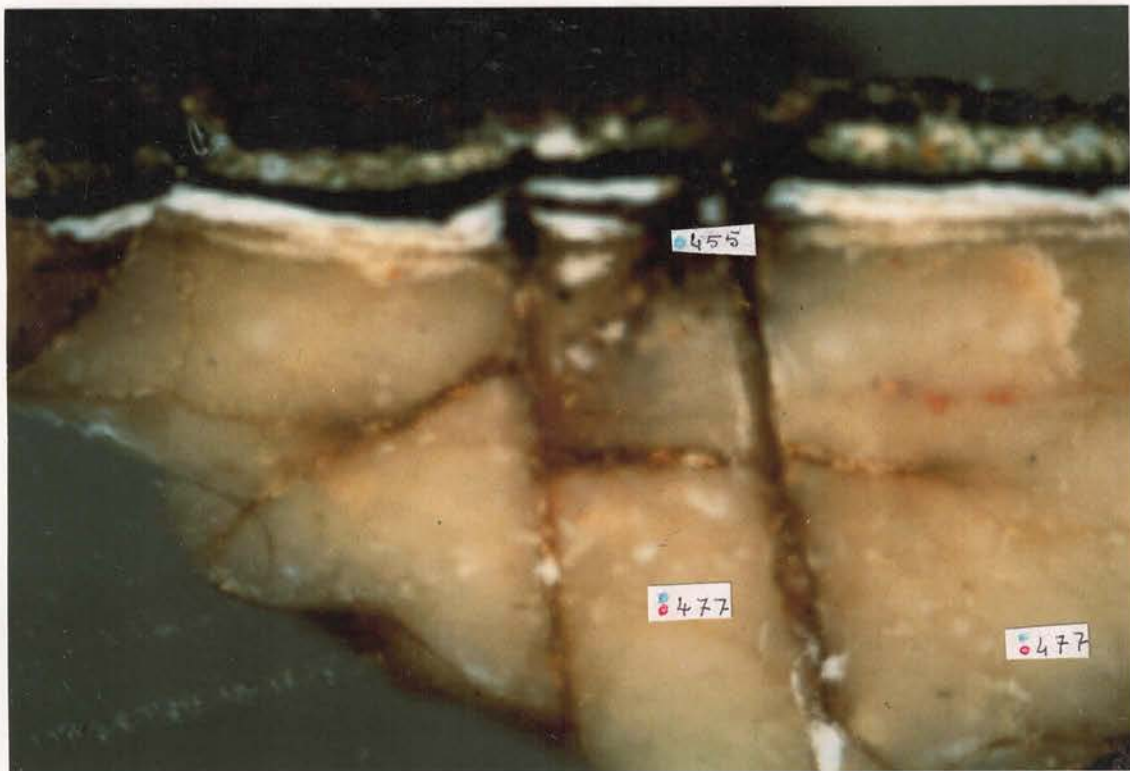
"Pescepio"

liviche Raccolte d'arte - Milano

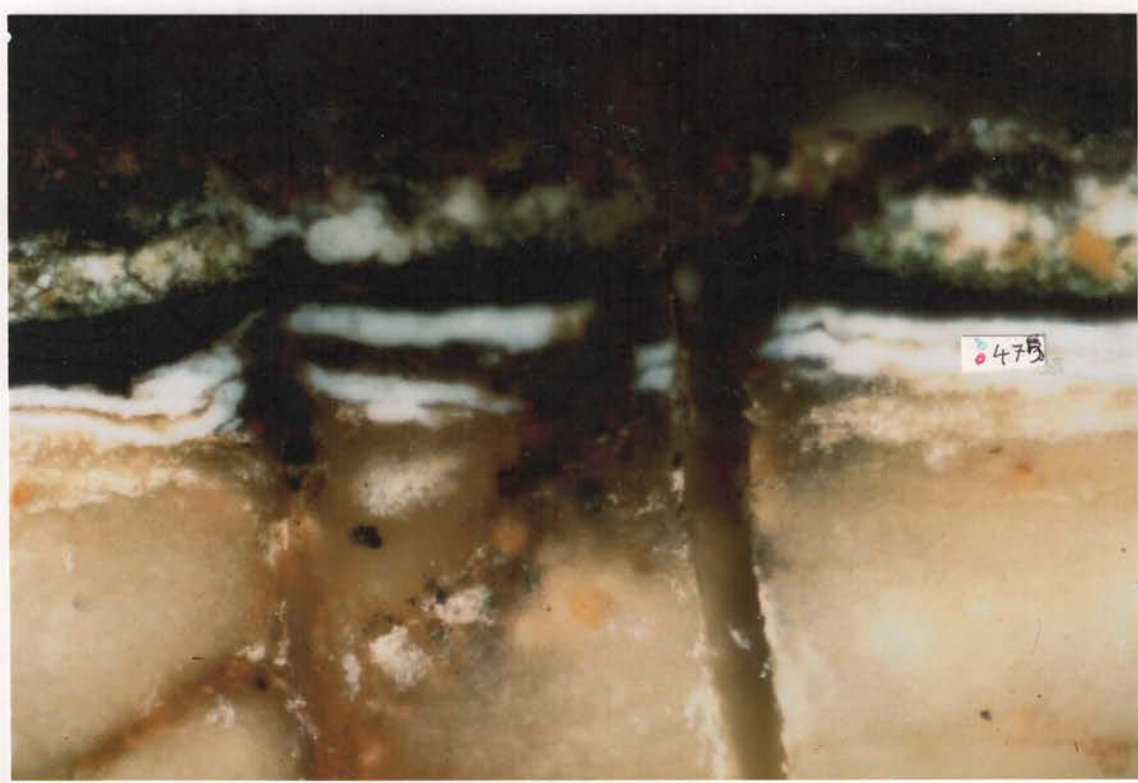
d'

9/3/1995

● Legant
● Proteo
● olio



1G (10x)



1G' (20x)

L¹

8/3/1999



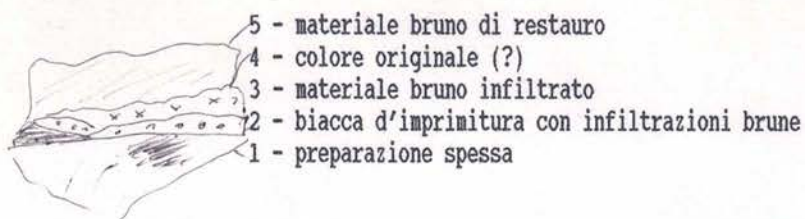
log 1_B (10x)



log 1_B (20x)

Campione 2G

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



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:

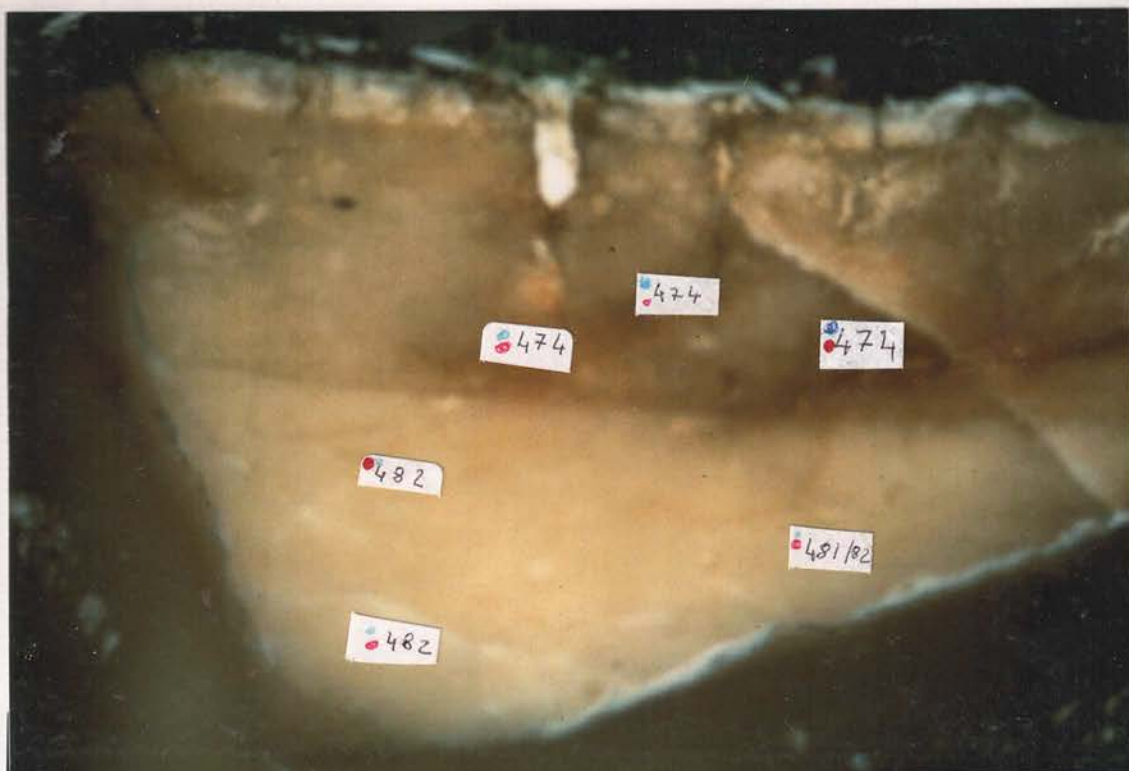
preparazione (zona scura) $\lambda_{\max} = 474 \text{ nm} *$
preparazione (zona chiara) $\lambda_{\max} = 481/82 \text{ nm} *$

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

In Fig. 2 si riportano gli spettri di fluorescenza.

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

81



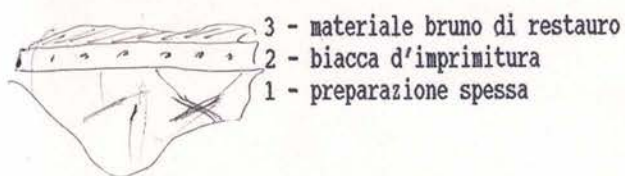
26 (10)



26 (20)

Campione 3G

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



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.

In Fig. 3 si riportano gli spettri di fluorescenza.

Kiuchere la
109
"Compass 36"



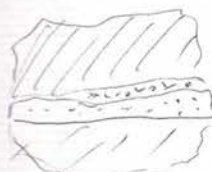
3 G (10x)



3 G (20x)

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 carbone (?)
- 2 - biacca d'imprimatura
- 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)	$\lambda_{\max} = 477 \text{ nm}$
crepa obliqua	$\lambda_{\max} = 487 \text{ nm}$

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 μm , in tre punti con i seguenti risultati:

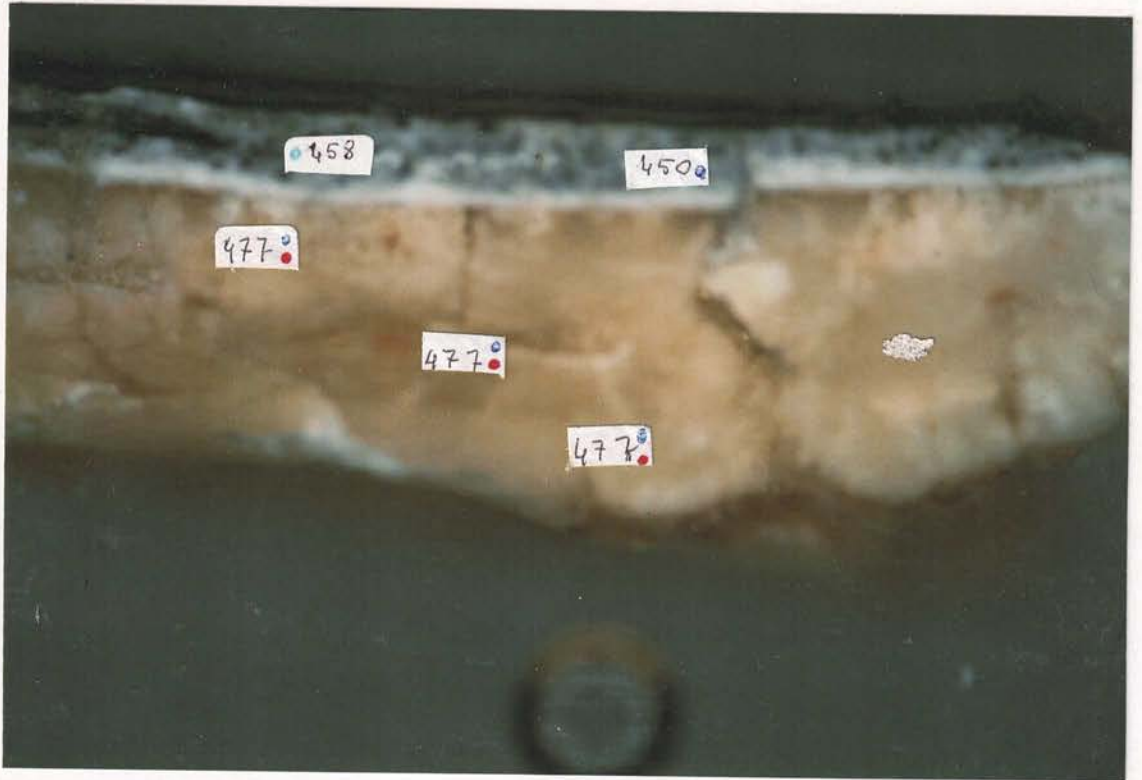
- vicino al colore	$\lambda_{\max} = 465 \text{ nm}$
- al centro dello strato	$\lambda_{\max} = 468 \text{ nm}$
- vicino alla preparazione	$\lambda_{\max} = 473 \text{ nm}$

Colore

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

punto in prossimità della crepa	$\lambda_{\max} = 450 \text{ nm}$
altro punto	$\lambda_{\max} = 458 \text{ nm}$

In Fig. 4 si riportano gli spettri di fluorescenza.



4 G (40x)



BIACCA

- ① vicino al colore
- ② al centro dello strato
- ③ al confine con la preparazione.

4 G (20x)

CAMPIONI

$a^{i,k}$

$a = 1, 2, 3, 4$
 $i = 1, 2, 3$
 $k = 1, 2, 3$

RISULTATI
parte II

PROVE DI COLORAZIONE

1) $(S, L, I = 2)$	20	- Profili di partenza
2) $(S, L, I = 1)$	40	- suddivisione di ciascuna in 4 tramezzi
3) $(S, L, I = 1)$	80	- colorazione di ogni fili per colla, uovo, olio

a

- Località di riferimento delle sezioni degli assi
- scelta dei campioni da analizzare con tecniche
elettroretroscattering (E.S.R.)



Ogni campione qui è stato indicato in ordine, sezionato trasversalmente e longitudinale.
La superficie ottenuta è stata colorata successivamente per colla, uovo e olio e fotografata al
microscopio ottico, soprattutto dopo ogni colorazione alcune decine di esemplari per sezione in
tracce della colorazione precedente.

b

ESCLUSI

Il materiale originale della preparazione è uovo.
Nel campione analizzato, provenienti da una zona molto ristretta (liscia, grinzosa,
rimanenti) non si è individuata alcuna parte che non fosse presente nei materiali originali
colta inizialmente. Le contorni chiare, per le loro caratteristiche di fluidità, si sono diffuse
in tutta la preparazione con concentrazioni variabili, ciò avviene in corrispondenza del tempo e
frequenza. Le sostanze proteiche (colla) sembrano concentrate nelle zone sottostanti il colore e
nelle crepe.

c

I risultati dell'analisi elettroretroscattering (E.S.R.) sono riportati nella tabella III.

PROVE DI COLORAZIONI

- | | | |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------|
| - 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, uovo e olio e fotografata al microscopio ottico, asportando dopo ogni colorazione alcune decine di micrometri per togliere le tracce della colorazione precedente.

RISULTATI

Il legante originale della preparazione è 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 dei crepe e fenditure. Le sostanze proteiche (colle) 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.)			$(\lambda_{\text{max}} \text{ in nm})$	
campione	punto	colla	uovo/colla + olio	olio
1G₃				
prepar.	1		475	x 473
prepar.	2		475	x 472
2G₂				
prepar.	1		475	476
prepar.	2		475	476
prep.	3	460		
crepa a)	4			489 x
crepa b)	5			490 ✓
3G₃				
prepar.	1		473	
biacca	2	x 461		462
biacca	2	x 461		460
4G₁				
prepar.	1		470	
prepar.	1		470	
prepar.	3			484 / 481/2
prepar.	4		470	
crepa	5			483
crepa	6			479
fuori crepa	7		460/2	
colore	8	448	437-62	
colore	8	450	441-62	
interno biacca	9	x 465	463	

CAMPIONE
1G₁

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 1G₁

1G ₁ ¹	1G ₁ ²	1G ₁ ³
colla	uovo	olio



- 3' - ridipintura bruna
3 - colore (tracce)
2 - biacca
3 - preparazione

I colorazione (senza foto)

Si sono colorati abbastanza
le zone sotto la ridipin-
tura e il margine sinistro

Foto

Si colorano: la zona a si-
nistra (nella ridipintura)
e quella sottostante a
sinistra

Foto

Si colora abbastanza;
più intensa la zona
sinistra

Foto

- Si colorano:
- lo strato sopra il bruno 3,
con palline rigonfiate
- il materiale nella frattura
- zona A: sotto la biacca e a
destra
- zona B: sotto la biacca, tutta

La biacca NO

05/05/95

L



1 G_1^2 cell (10x)



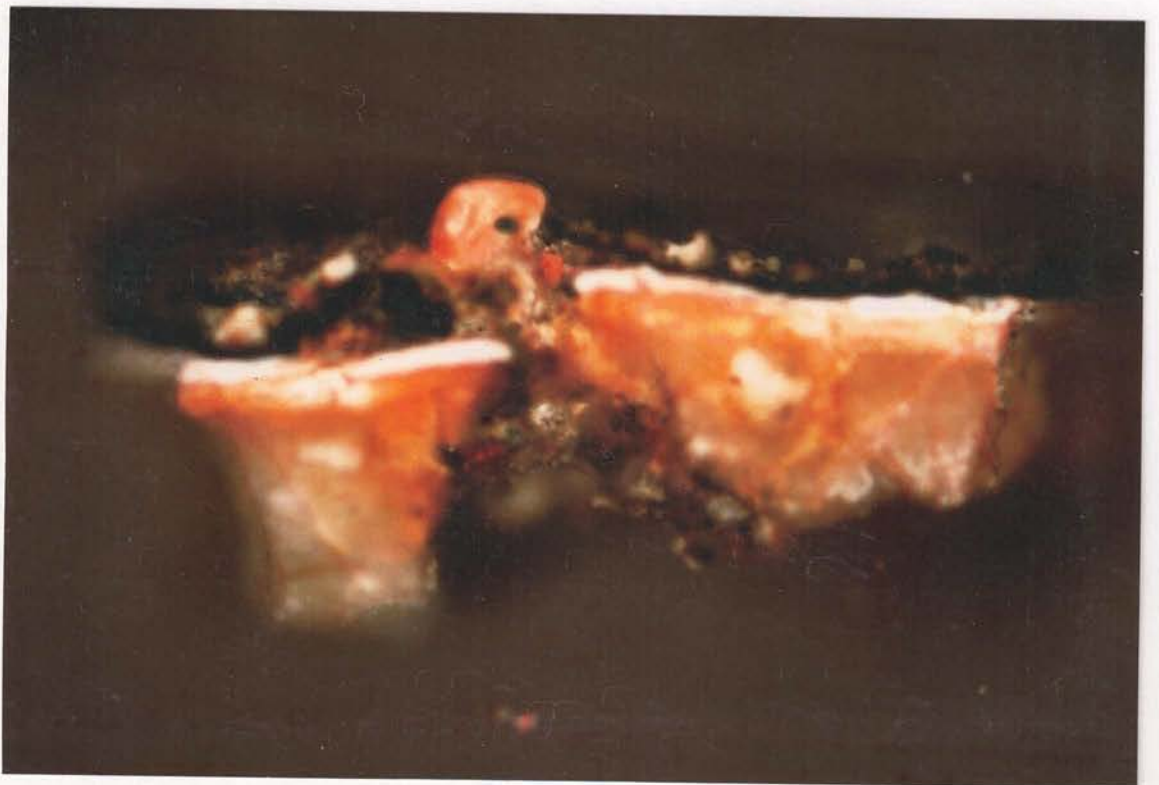
1 G_1^2 cell (20x)

05/05/95

L'

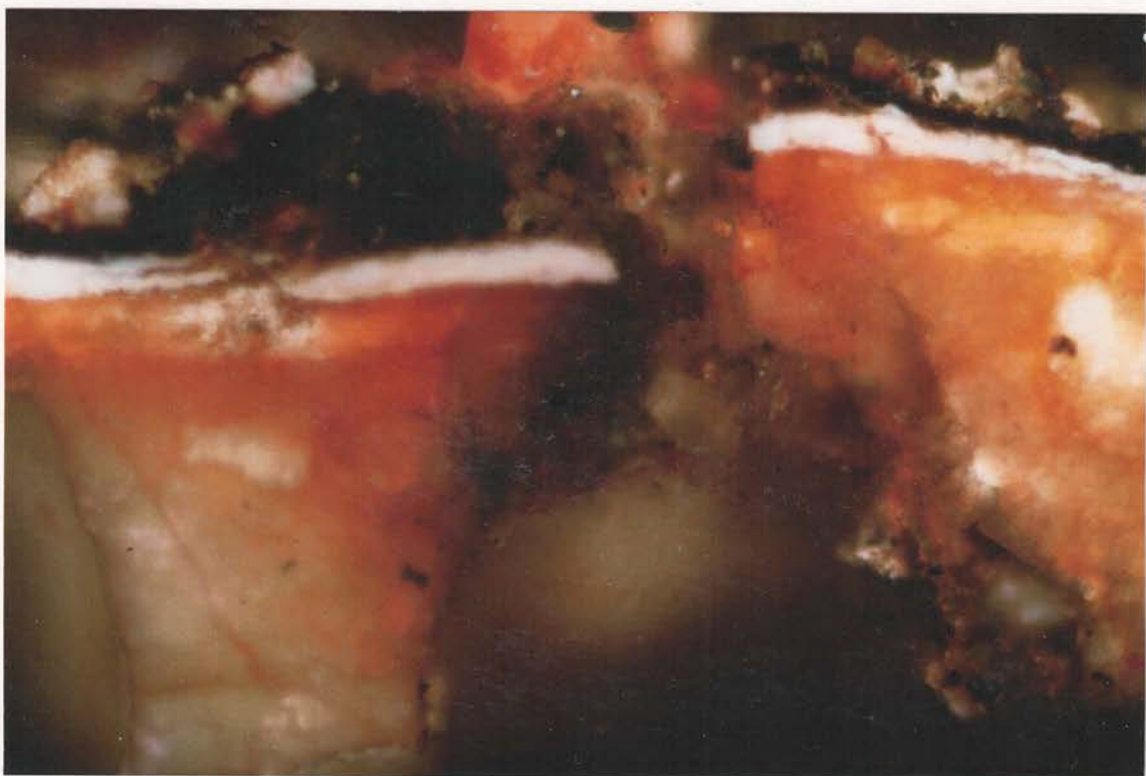


1 G₁² uovo (10x)



1 G₁³ olio (10x)

L'



1 G₁³ olio (20x)
sinistra



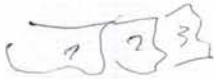
1 G₁³ olio (20x)
destra

CAMPIONE
1G₂

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 1G₂

1G ₂ ¹	1G ₂ ²	1G ₂ ³
colla	uovo	olio



Foto

Colorazione molto debole
al margine sinistro delle
zone 1 e 2

Foto

Colorazione abbastanza
intensa e uniforme.
Si colora di più la
zona 3

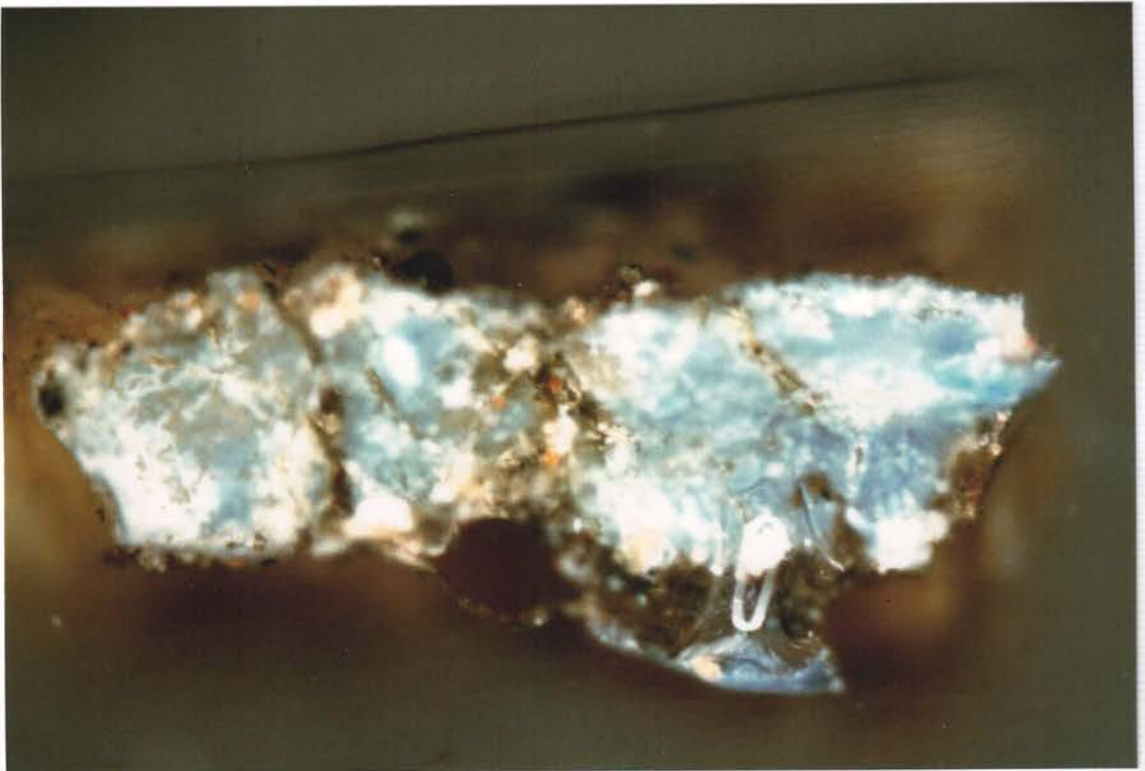
Foto

Colorazione molto
debole della zona 1
a destra

L1



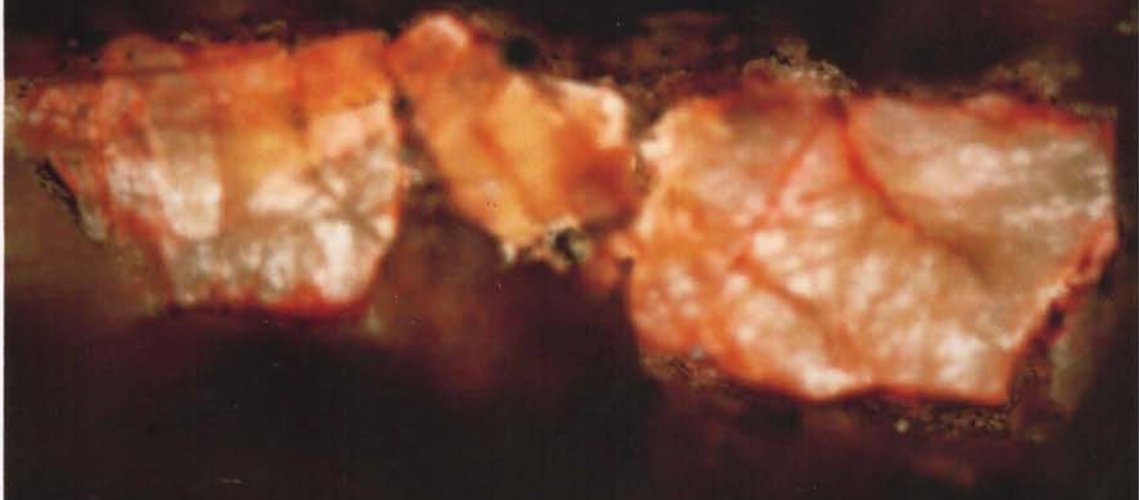
1 G_2^2 colla (10x)



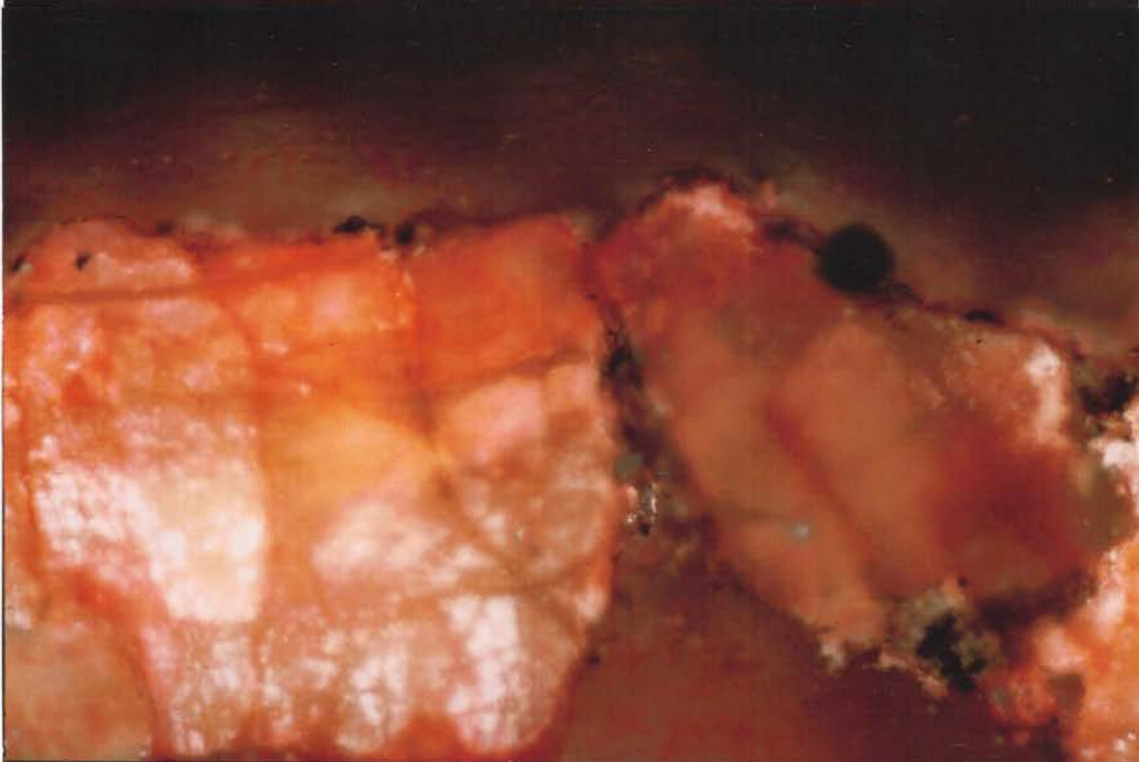
1 G_2^2 uovo (10x)

L'

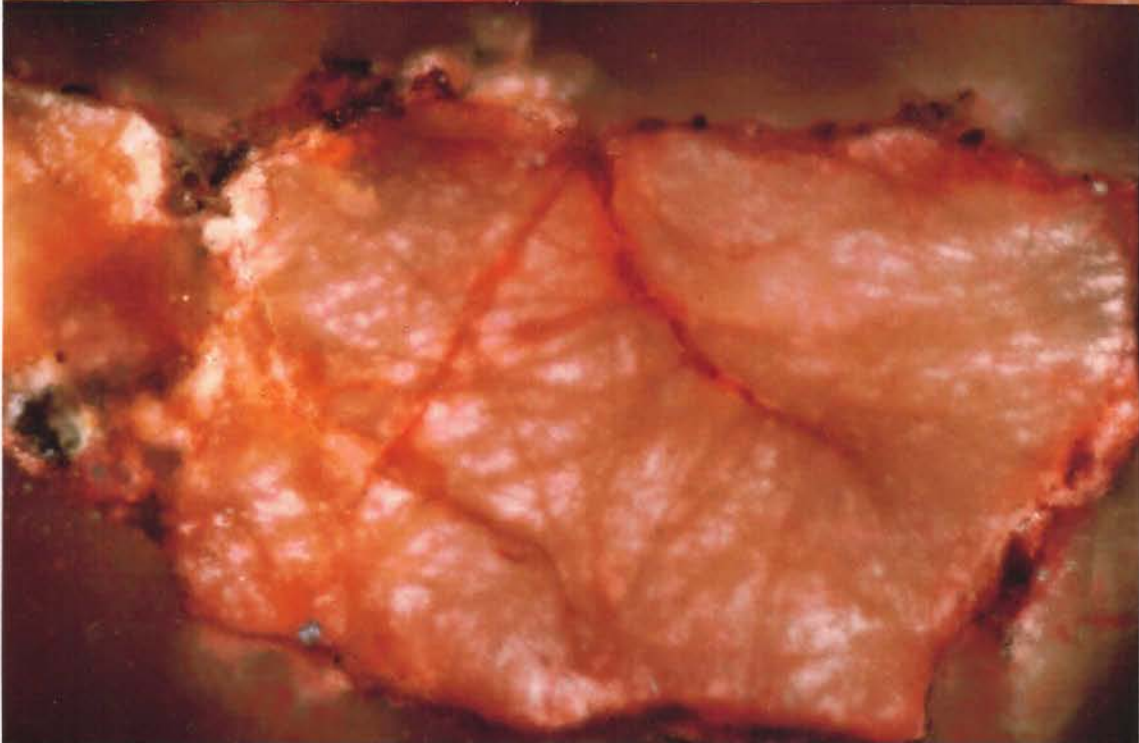
05/05/95



1 G₂³
olio (10x)



1 G₂³
sinistra
olio (20x)



1 G₂³
destra
olio (20x)

Campione n. 163

163	163	163
163	163	163

163	163	163
163	163	163
163	163	163

CAMPIONE
163

163	163	163
163	163	163

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 1G₃

1G ₃ ¹	1G ₃ ²	1G ₃ ³
colla	uovo	olio



Foto

Debole colorazione ai
margini

Foto

Colorazione molto
intensa.

Linee bianche lungo
le crepe: fenditura ?

Foto

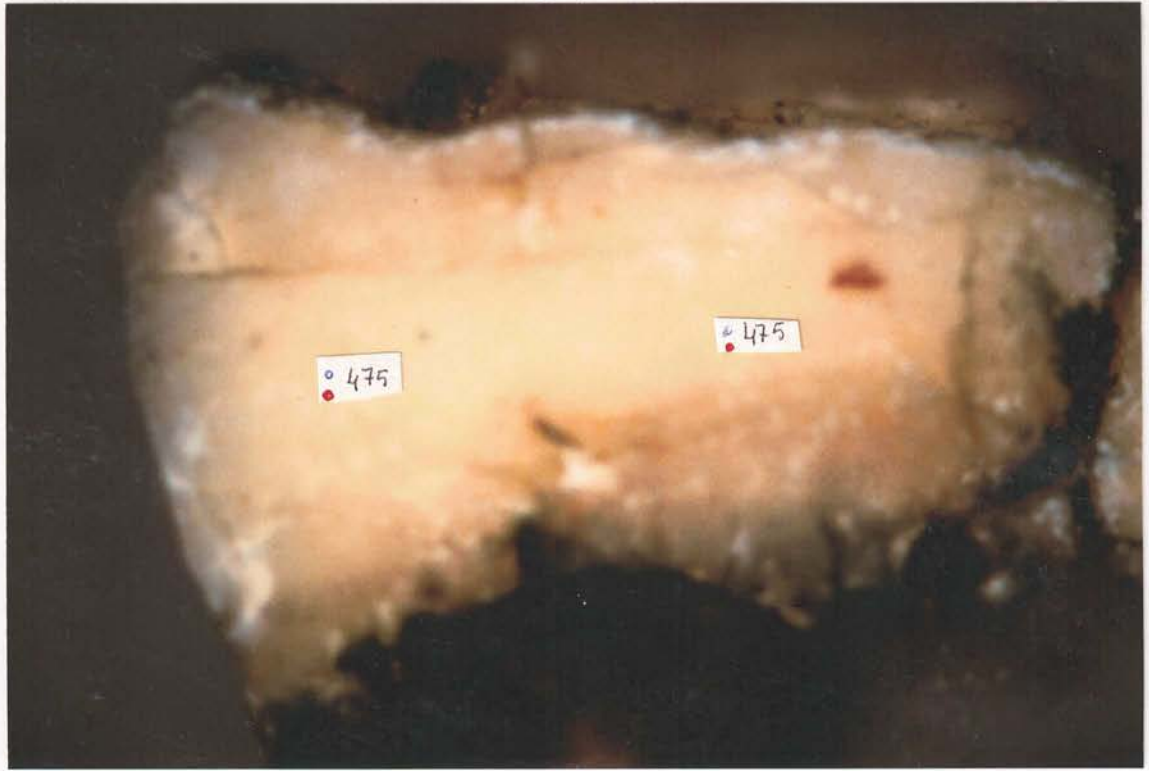
Si colorano le
ridipinture con
qualche puntino più
intenso

Oss. Solo preparazione.
Tracce di materiale
tardo in superficie a
destra (zona 1)

Oss. Nella zona 2 in
basso tracce di
materiale bruno.
In alto ridipinture
nelle zone 1 e 2

L'

uovo + alio
lunga 475 m



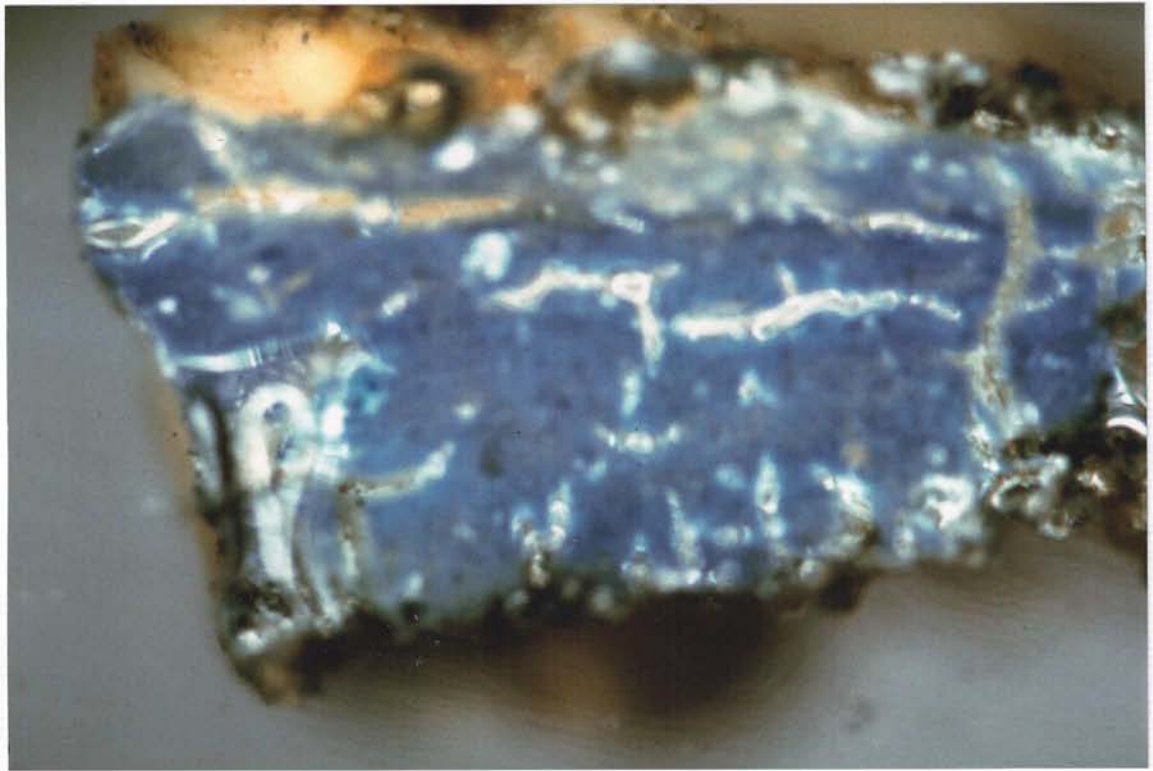
1 G₃ sinistra (10x)
colla



1 G₃ destra (10x)
colla

05/05/95

21



1 G₃² uovo (10x)
sinistra

21



1 G₃³ olio sinistra

(10x)



1 G₃³ olio destra

(10x)

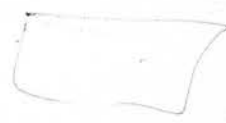
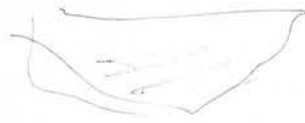
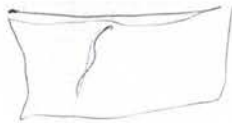
CAMPIONE
2G₁

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 2G1

2G ₁₁	2G ₁ ²	2G ₁ ³
colla	uovo	olio

- 5 - grigio scuro
- 4 - colore (tracce)
- 3 - biacca
- 2 - preparazione scura
- 1 - preparazione bianca



Foto

Debole colorazione in
superficie e nelle
crepe

Foto

Foto

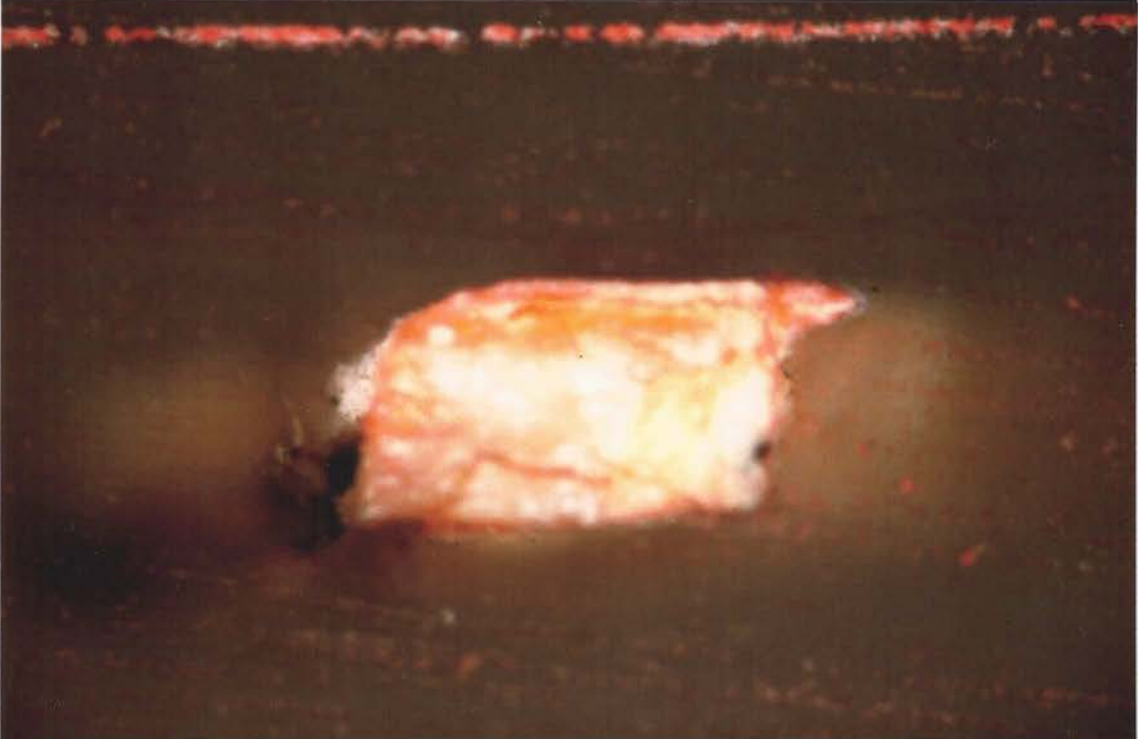
Non c'è la biacca.
Colorazione debole



2 G₂²
colta
(10x)



2 G₁²
uovo
(10x)



2 G₁³
olio
(10x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 2G2

2G ₂₁	2G ₂ ²	2G ₂ ³
colla	uovo	olio



Foto

Si colora in superficie
e nelle crepe

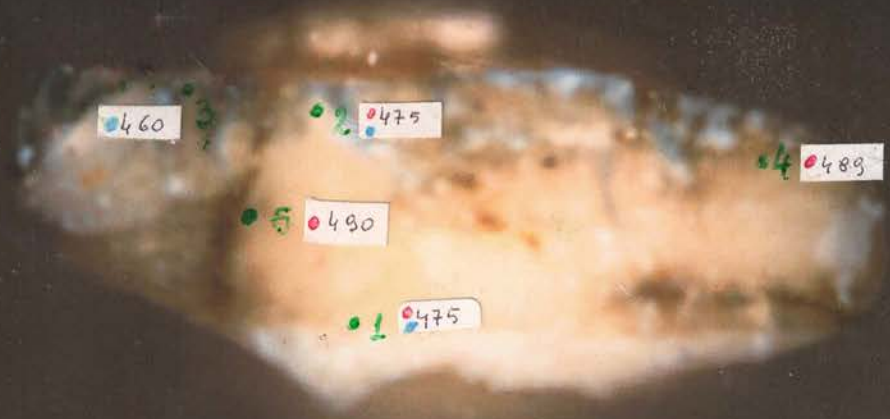
Foto

Colorazione abbastanza
uniforme e intensa

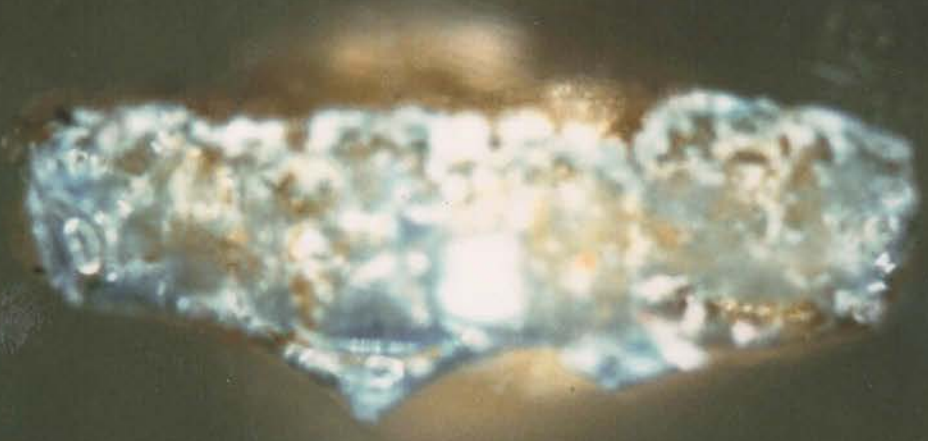
Foto

Nelle crepe qualche
puntino rosso

05/05/95



2G₂¹
colla
(10x)



2G₂²
uovo
(10x)



2G₂³
olio
(10x)

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 2G3

- 3 - colore (tracce)
- 2 - biacca d'imprimatura
- 1 - preparazione

2G₃¹

2G₃²

2G₃³

colla

uovo

olio

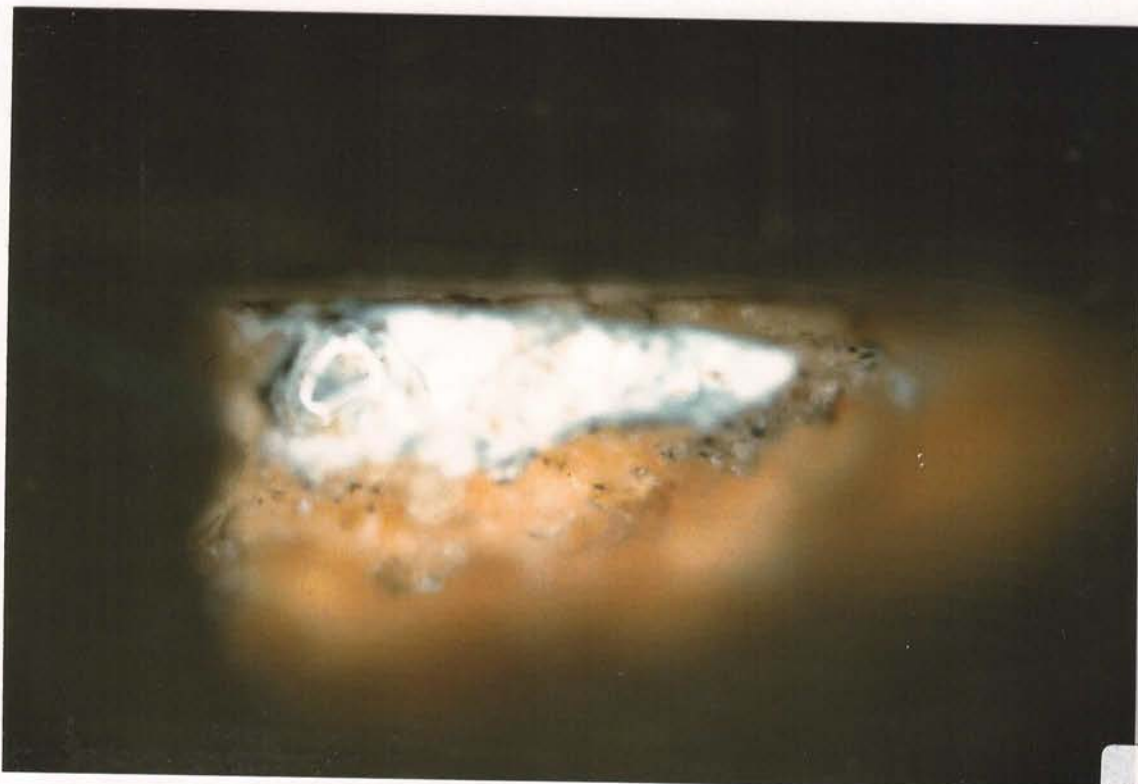
Foto

Foto

Foto

Debole colorazione
nelle crepe

S colorano le crepe
le zone segnate



2G₃ colla
11/01/1

L'



2 G₃³ olio (10x)



2 G₃ - uovs (16x)

CAMPIONE
3G₁

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 3G1

3G ₁₁	3G ₁ ²	3G ₁ ³
colla	uovo	olio



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



Foto

Si colora sotto il colore.
Forse anche la biacca

Foto

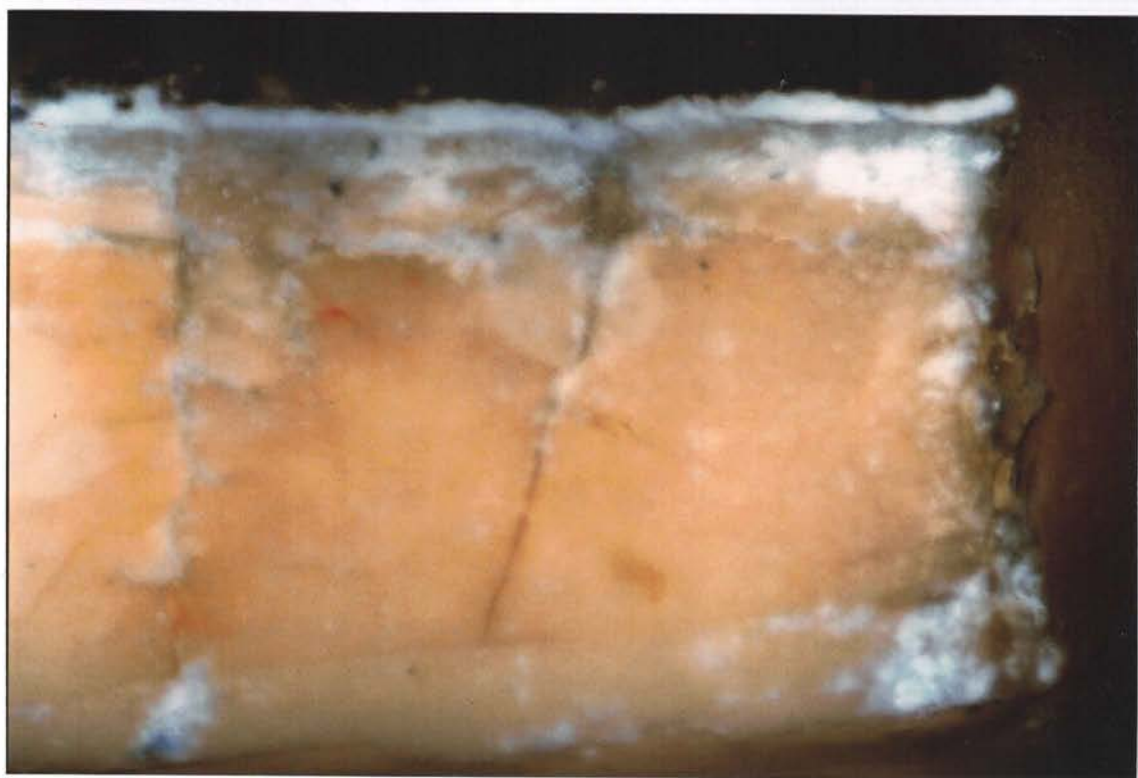
Foto

Si colorano le crepe.
La biacca NO.
Debole colorazione
sotto la biacca

2'



3 G_1^1 colla (10x)

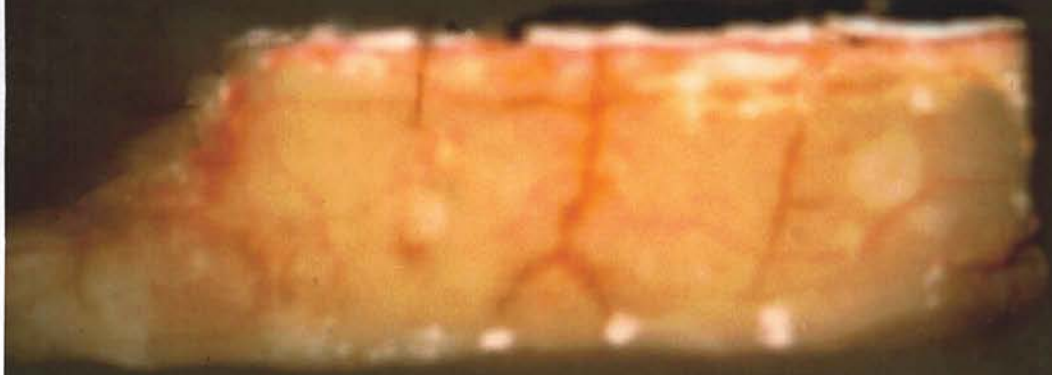


3 G_1^1 colla (20x)

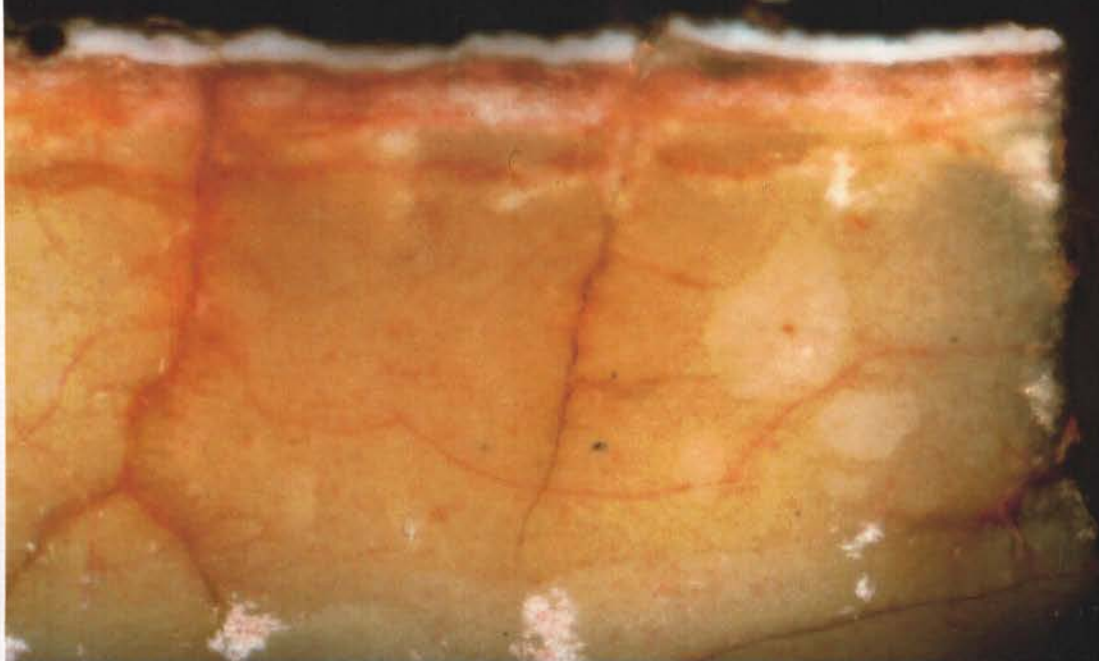
2



$3G_1^2$
ovo
(10x)



$3G_1^3$
olio
(10x)



$3G_1^3$
olio
(20x)

CAMPIONE
3G₂

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 3G2

3G ₂₁	3G ₂ ²	3G ₂ ³
colla	uovo	olio



Foto

Colorazione molto debole
ai margini

Foto

Colorazione con zone
più intense

Foto

Colorazione nelle crepe con
qualche sferura (resina ?)

Stampare le
nuove foto

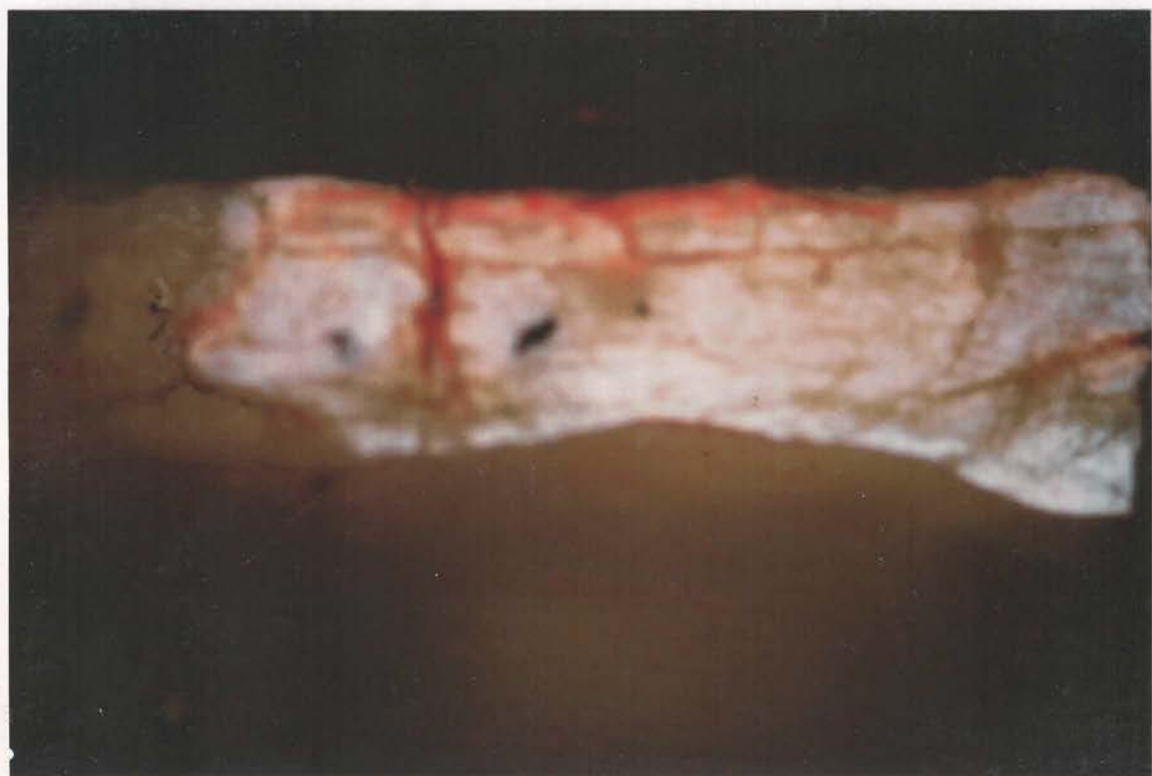
$2G_3^1$

~~$3G_2^1$~~
colla
(10x)

$2G_3^2$

~~$3G_2^2$~~
uovo
(10x)

Membr.



$3G_2^3$
olio
(10x)

Colore 303

1994	1995	1996
1994	1995	1996

1997	1998	1999
1997	1998	1999

CAMPIONE
3G3

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 3G3

3G ₃₁	3G ₃ ³	3G ₂ ³
colla	uovo	olio



Foto

Si colora il margine superiore

Foto

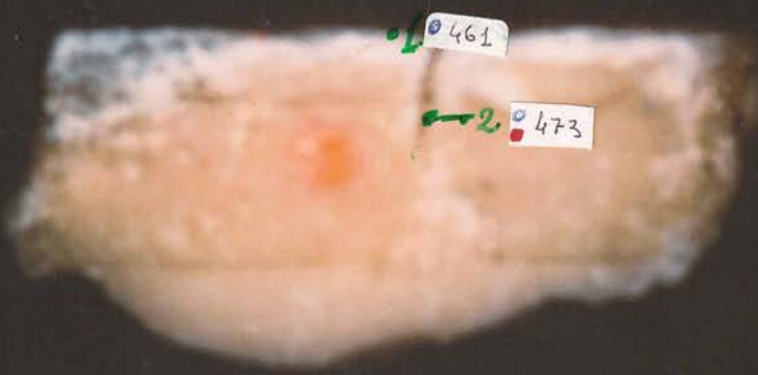
Colorazione abbastanza uniforme nella parte mediana, più intensa nella parte inferiore.

Non si colora la parte superficiale

Foto

Si colora soltanto lungo le crepe. Qualche puntino nella bianca.

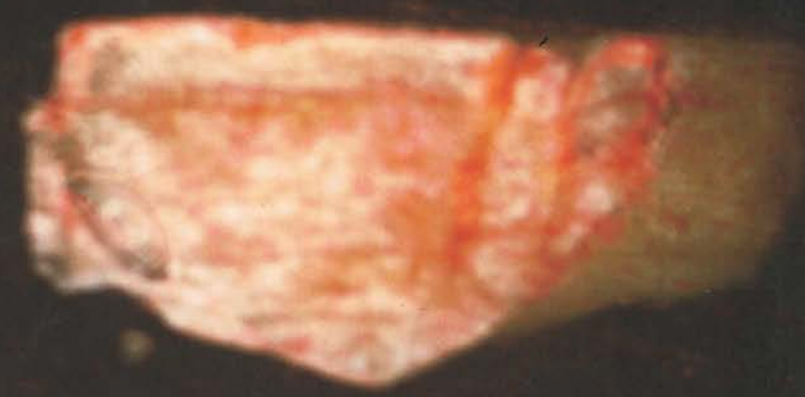
OSS. Le crepe attraversano la bianca



3 G₃¹
cello
(10x)



3 G₃²
uovo
(20x)



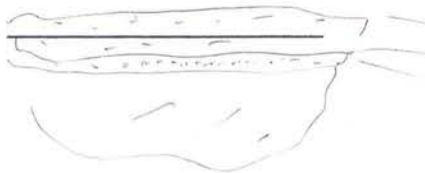
5 G₃³
olio
(10x)

CAMPIONE
4G₁

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 4G1

4G ₁ ¹	4G ₁ ²	4G ₁ ³
colla	uovo	olio



- 4 - colore (tono giallino)
- 3 - colore: biacca + nero carbone
- 2 - biacca
- 1 - preparazione



Foto

La colla è penetrata dalla superficie. Si sono colorate: le crepe, la biacca e le zone sotto la biacca.
Il colore NO

Foto

Si è colorato intensamente

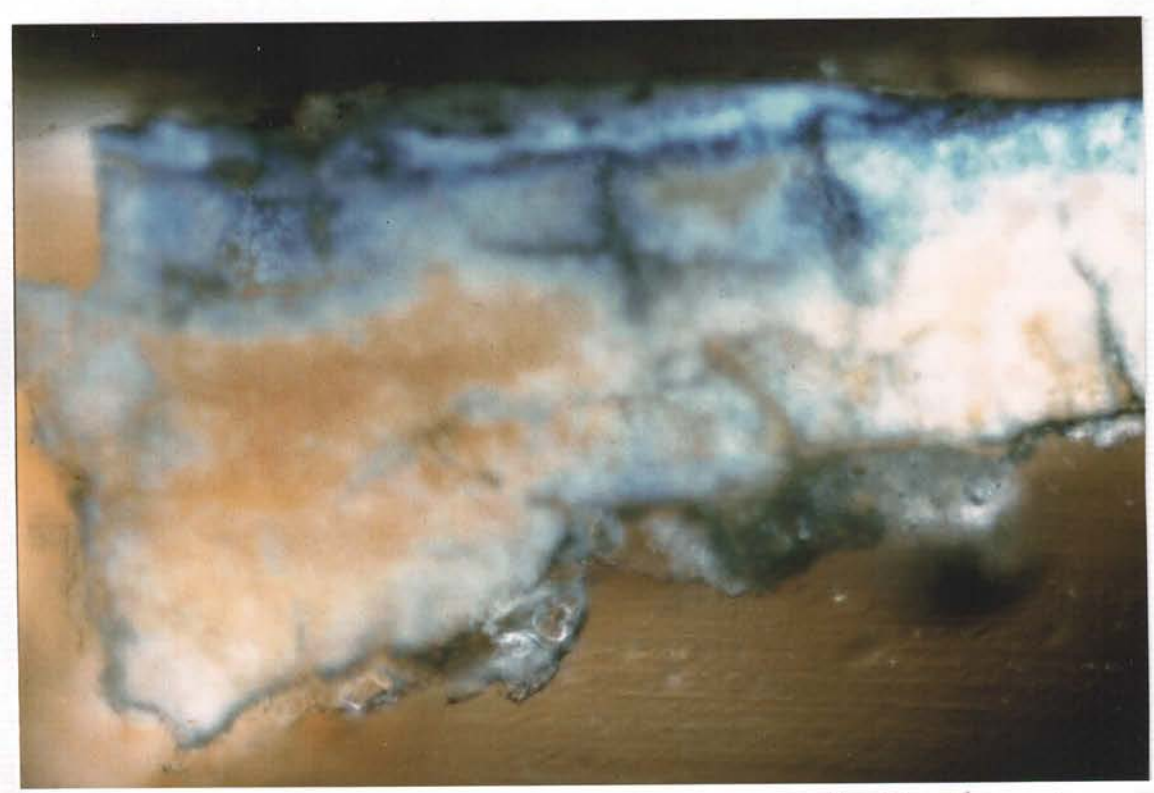
Foto

Si sono colorate: la biacca e le zone 1) e 2).
Il colore NO

L'



4 G₁² colla (10x)



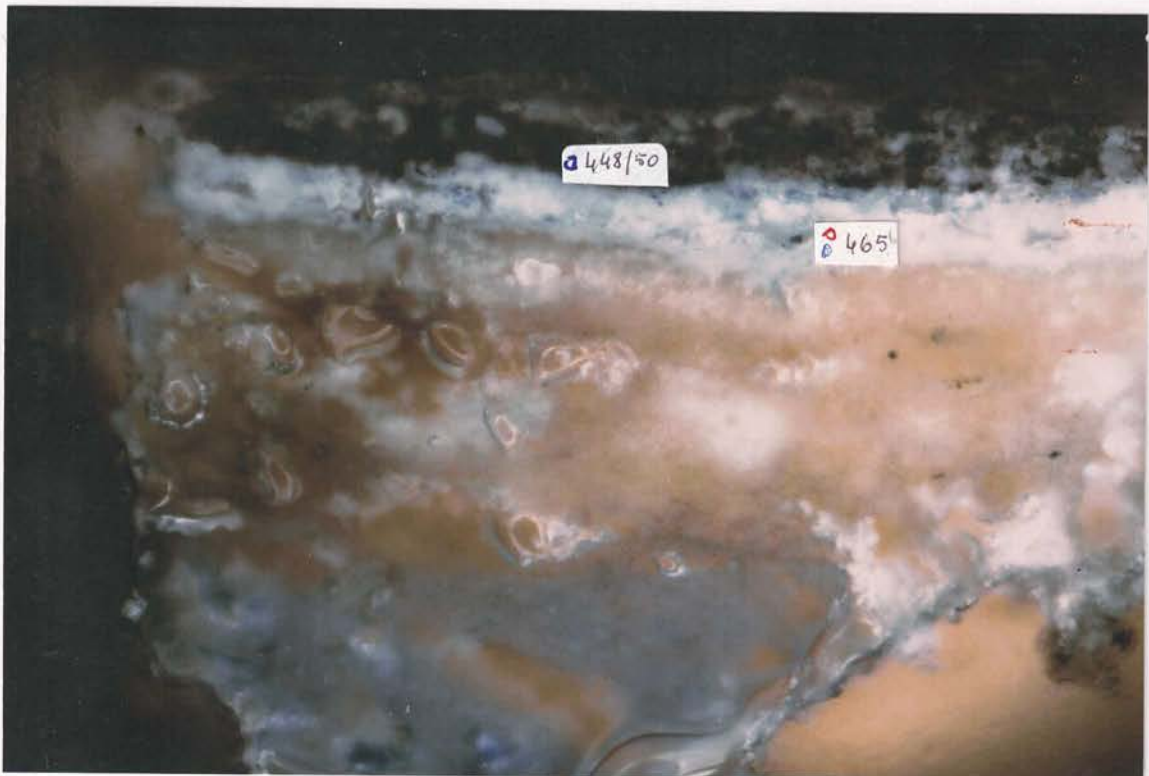
4 G₁² colla (20x)

L'



4 G_1^2 uovo (10x)

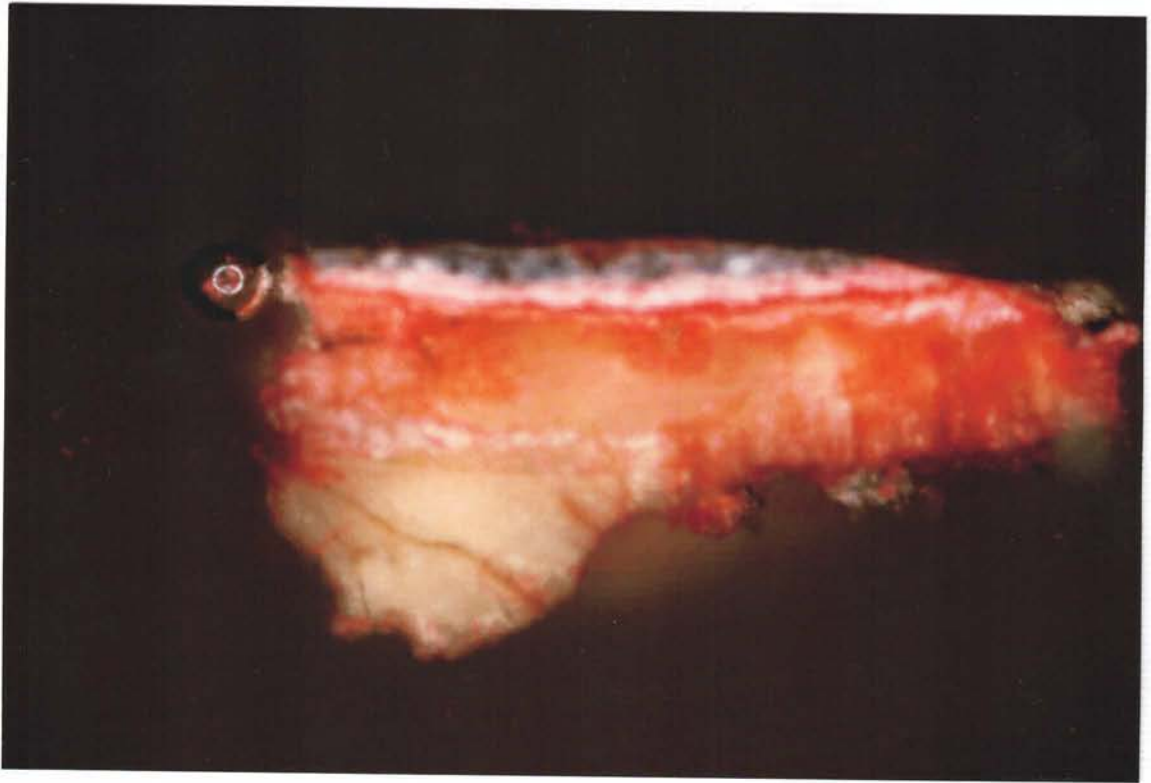
4 G_1^2 (40x)



4 G_1^2 uovo (20x)

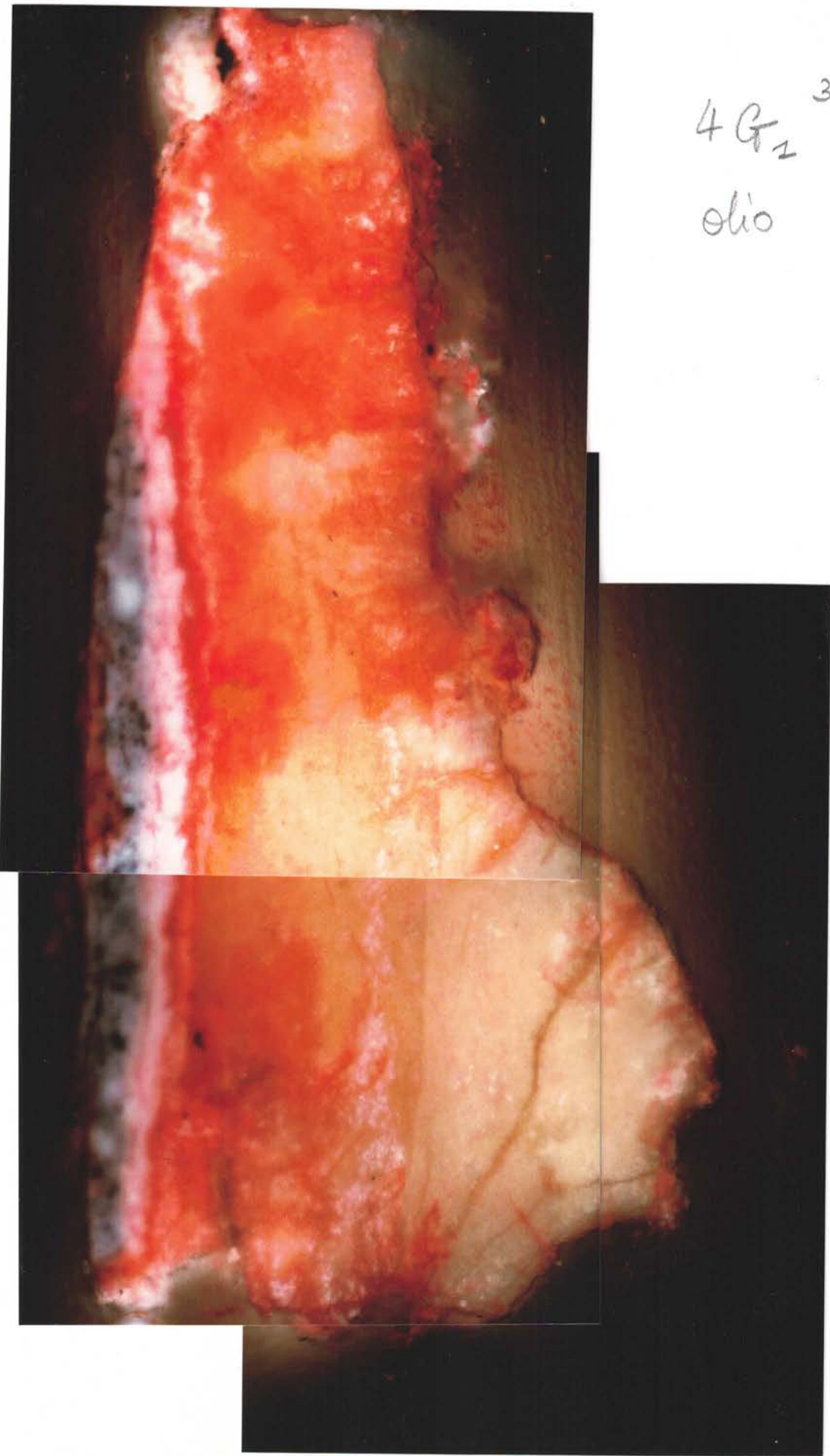
05/05/95

L'



4 G₂³ olio (10x)

L'



4G₁³

olio (20x)

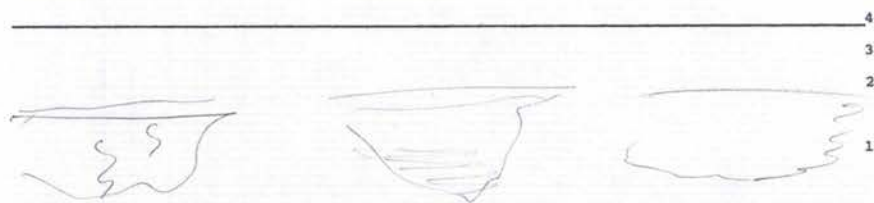
CAMPIONE

4G₂

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 4G2

4G ₂ ¹	4G ₂ ²	4G ₂ ³
colla	uovo	olio



Foto

Colla nelle crepe

Foto

Foto

Si colora molto sotto la biacca a destra e nelle zone tratteggiate.

Si colora lo strato 4)

L'



4 G₂¹
colla
(10x)



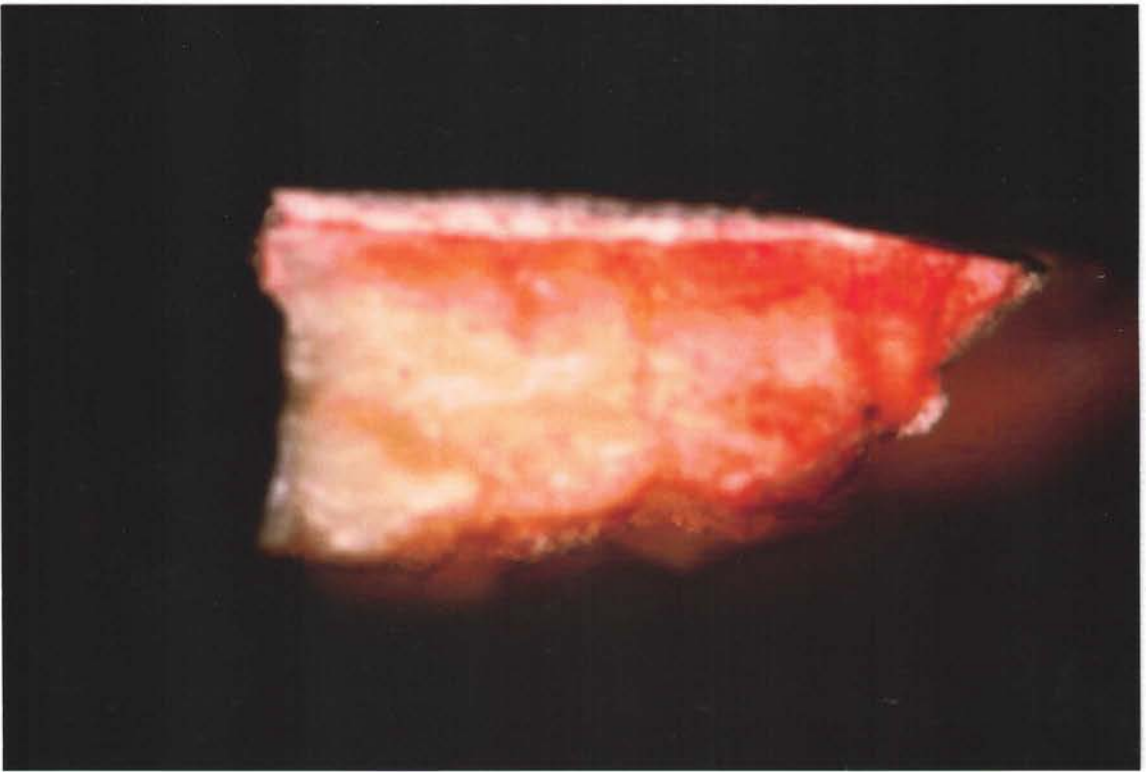
4 G₂²
uovo
(10x)



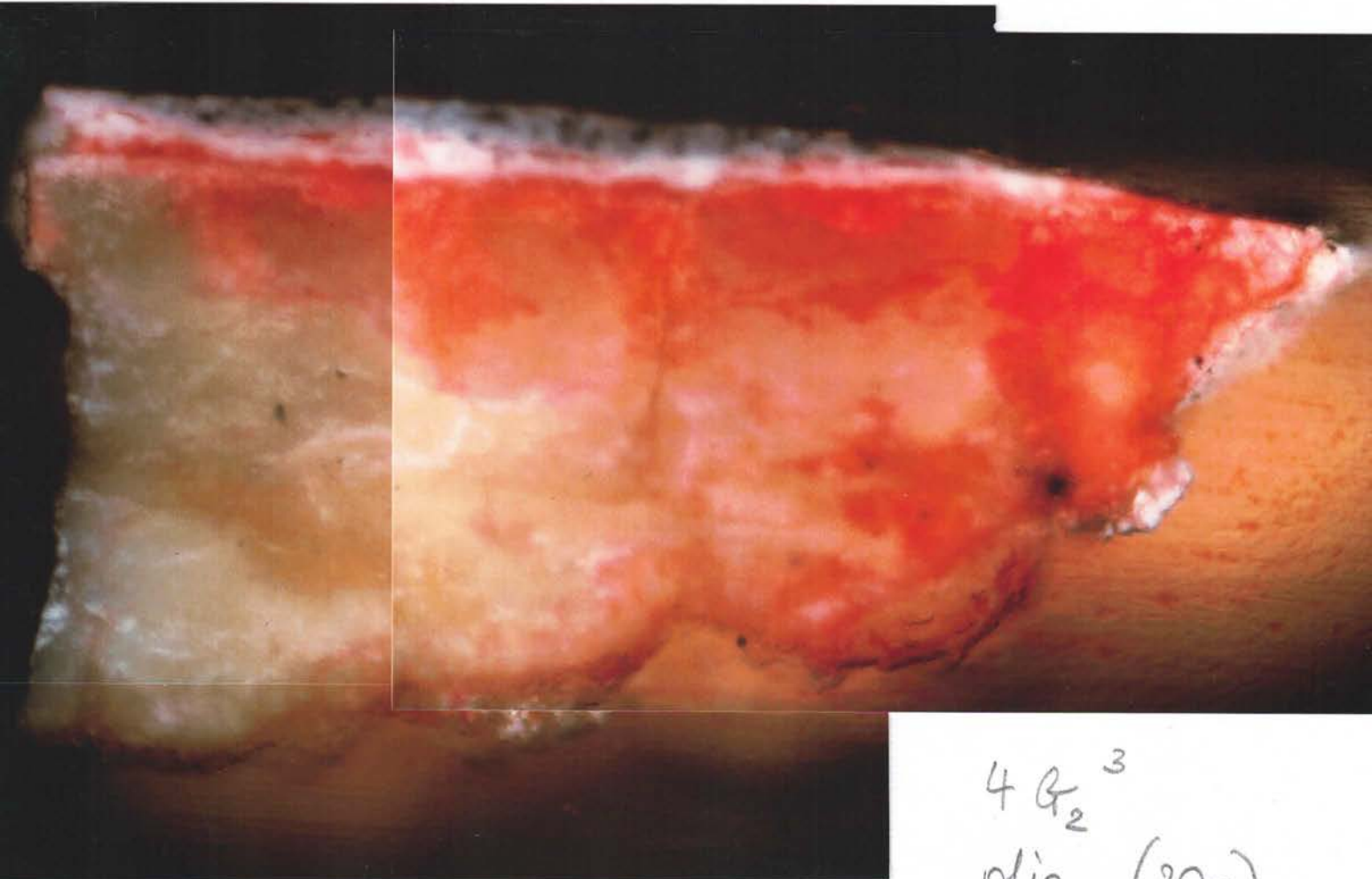
4 G₂²
uovo
(20x)

21

05/05/19



4 G₂³
olio
(10x)



4 G₂³
olio (20x)

CAMPIONE
4G3

PROVE DI COLORAZIONE: FOTO

Campione 4G3

4G ₃₁	4G ₃ ²	4G ₃ ³
colla	uovo	olio



Foto

Si colorano: la zona sottostante il colore e le crepe

Foto

Si colora più intensamente la zona inferiore

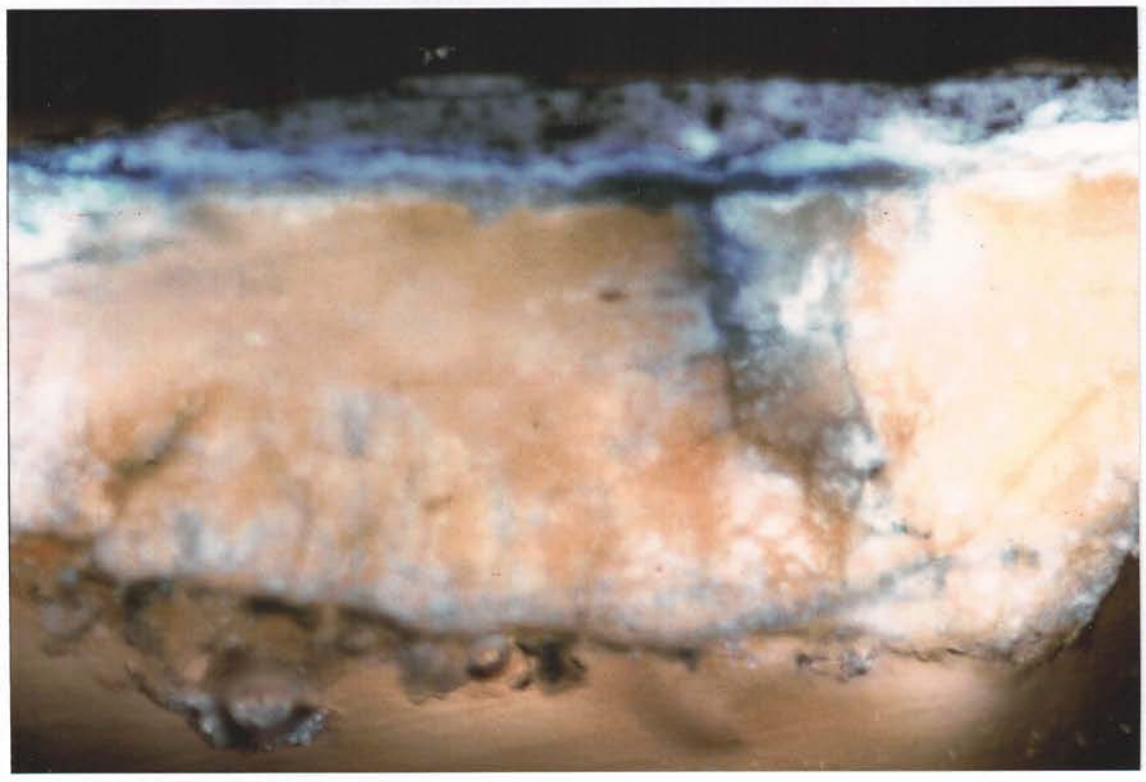
Foto

Olio nelle crepe e lungo il margine destro. Globuli più intensi nella biacca e nel colore (rigonfiamento del materiale)

L'



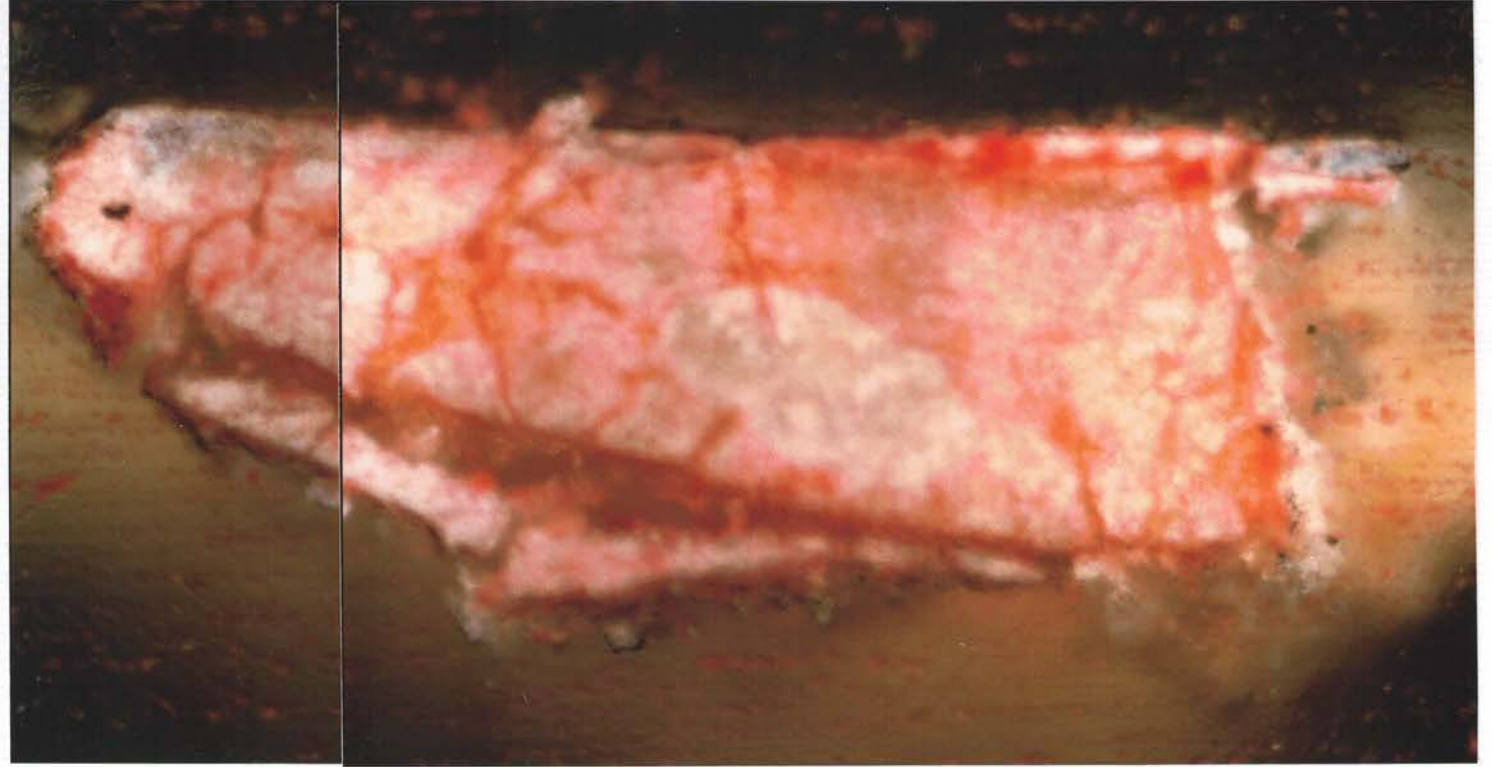
4 G_3^2 colla (10x)



4 G_3^2 colla (20x)

05/05/95

L1



4 G_3^3 olio (10x)

Campione 1G

- 4 - materiale bruno di restauro (130 um)
- 3 - ridipintura verde (30-40 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", 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')