



POLITECNICO DI MILANO  
ISTITUTO DI FISICA

20133 MILANO (ITALY) *Politecnico*

Piazza Leonardo da Vinci n. 32  
Tel. 02-2399.6100  
Telex 333467 POLIMI-I  
Telefax 02-23992206

STUDIO ANALITICO DI CAMPIONI DI COLORE  
PRELEVATI DALLE LUNETTE SOVRASTANTI  
"L'ULTIMA CENA" DI LEONARDO DA VINCI

( a cura di Antonietta Gallone )

STUDIO ANALITICO DI CAMPIONI DI COLORE PRELEVATI DALLE LUNETTE SOVRASTANTI "L'ULTIMA CENA" DI LEONARDO DA VINCI

Antonietta Gallone  
Istituto di Fisica  
Politecnico di Milano

Durante il restauro delle lunette sovrastanti " L'Ultima Cena" di Leonardo da Vinci sono stati prelevati alcuni campioni di colore, al fine di determinare - mediante tecniche di analisi chimico-fisiche - la natura dei materiali impiegati e la loro distribuzione nella pellicola pittorica e di mettere in luce alcuni aspetti della tecnica di esecuzione.

METODI DI ANALISI

Sono state impiegate le seguenti tecniche analitiche:

- esame ai microscopi ottico ed elettronico
- tests microchimici, prove di colorazione
- analisi per diffrazione di raggi X
- analisi per fluorescenza di raggi alla microsonda elettronica (*su sezioni trasversali levigate di campioni inglobati in resina poliesteri*)

STRUTTURA DEGLI STRATI DI COLORE

*Strato di base al colore*

Il colore appare applicato su una stesura bianca, di granulometria molto fine, sovrastante l'intonaco; analizzata per *diffrazione di raggi X* e per *fluorescenza di raggi X alla microsonda elettronica*, risulta composta di:

- carbonato di calcio, con presenza di carbonato di magnesio
- quarzo
- tracce di silicati di alluminio e di potassio

In molti campioni si osserva, tra la base bianca e il colore, un ulteriore straterello traslucido di composizione analoga, spesso 10-15  $\mu\text{m}$  ( *Campione LL - ci o: bianco scialbo dalla fascia* ).

### Colore

L'analisi stratigrafica dei campioni ha mostrato che il colore è applicato generalmente in in due o più strati di composizione simile ma di tonalità differente ( verde chiaro - verde intenso ) o di natura diversa ( blu su rosso, verde su giallo ). Il rosso del fondo appare composto di un solo strato.

Gli strati di colore contengono spesso più di un pigmento, oltre al nero e al bianco: particelle gialle sono mescolate al verderame; ocra rossa e gialla al giallo di piombo; tracce di cinabro si osservano nei rossi di ematite dei fondi.

In alcuni campioni si notano tracce di doratura a *foglia d'oro* su base giallina ( *ocra gialla e biacca* ) o verde ( *verderame e biacca* ), oppure su uno strato di natura resinosa ( *missione* ) su un blu di azzurrite. Talvolta l'oro è velato di verde con *resinato di rame* o di rosso con *lacca rossa*.

In campioni prelevati dallo stemma della lunetta centrale e da quello della lunetta laterale è stato identificato - per fluorescenza X alla microsonda elettronica - lo stagno in lamina di circa 20  $\mu\text{m}$  di spessore; risulta applicato su uno strato di *giallo di piombo* e velato, nel secondo caso, di *azzurrite*. L'uso dello stagno per "adornare in muro" è consigliato da Cennino Cennini nel "Libro dell'arte" ( Cap. XCV ) in luogo dell'argento che " tosto non dura e vien negro in muro....; ma più tosto perde in muro. Adopera in suo cambio innanzi dello stagno battuto..."

\*\*   \*\*   \*\*

Si dà ora una descrizione dettagliata dei singoli campioni, raggruppati per colore, indicando per ciascuno la provenienza ( LL: *lunetta laterale*; LS: *lunetta sinistra*, LC: *lunetta centrale*; LD: *lunetta destra* ).

I pigmenti sono stati identificati principalmente mediante l'analisi stratigrafica per *fluorescenza X alla microsonda elettronica* in base agli elementi caratteristici rivelati. La sensibilità è dell' 1 %. ( Tabella I )

Al colore è mescolato *carbonato di calcio*, con presenza di *carbonato di magnesio* e tracce di *quarzo*. Solo in alcuni casi è stata rivelata la presenza di *biacca*.

*Blu: azzurrite*

in grossi cristalli, con qualche particella di *malachite* di alterazione dell'*azzurrite*, come spesso si osserva nei dipinti murali. L'*azzurrite* costituisce lo strato superficiale lo strato superficiale dei campioni seguenti:

LS - cl 4 *blu soffitto*

Sull'intonaco si osservano lo strato di base bianco spesso ( *carbonato di Ca* e *carbonato di Mg*, con particelle di *quarzo* e *silicati di Al* e *K* ) e lo straterello bianco traslucido di composizione analoga ( 1, 1' ) già descritti; al di sopra sono applicati uno spesso strato rosso scuro - *ocra rossa*, molte particelle di *nero* - ed uno strato sottilissimo rosso chiaro di *ocra rossa* ( 2, 3 ); in superficie la stesura di *azzurrite* ( 4 ).

LC - cl 12 *blu + oro + verde (piuma)*

Il prelievo è incompleto; mancano infatti lo strato bianco di base; dello strato rosso ( 1 ) si osservano solo poche tracce; lo strato blu ( 2 ) di *azzurrite* - sul rosso - ha sovrammessa una spessa stesura gialla di *giallo di piombo* ( *PbO* ) con particelle di *ocra gialla* *ocra rossa* ( 3 ) che costituisce lo strato di supporto alla foglia d'*oro* ( 4 ), velata di *resinato di rame* ( 5 ).

LC - cl 9 *blu + bruno e verde (ai margini dello stemma)*

Sulla base bianca (1) si nota uno strato verde chiaro di *resinato di rame* e *ocra gialla* (2); sovrammessi, in successione, si osservano: uno strato più sottile giallo (*giallo di piombo con ocra gialla*) ( 3 ); la lamina di *stagno* ( 4 ); l'*azzurrite* ( 5 ); tracce di *ocra rossa*

LS - cl a *blu serpente ( dallo stemma )*

cl b " " " "

Anche in questi campioni, di struttura e composizione analoghe, manca la base bianca.

lo strato più profondo è di colore giallo intenso ( *giallo di Pb, poca ocre gialla e rossa* ) ( 1 );  
sul giallo è applicata una lamina di *stagno* ( 2 ), sulla quale si osserva uno spesso strato di *azzurrite* in grossi cristalli ( 3 ).

*Verde:* *verderame, resinato di rame*  
Il *verderame* è il pigmento usato per i verdi, spesso mescolato a particelle di giallo.  
Il *resinato di rame* lo si osserva in velatura sull'oro.

LL - cl 1 *verde stratificato ( foglia )*  
Sulla base bianca ( 1 ) si osservano:  
uno strato giallo-verde di *verderame* con grosse particelle di *ocra gialla* ( 2 );  
un sottile strato bruno organico di natura *resinosa* ( 3 );  
uno strato superficiale verde chiaro di *resinato di rame* con poca *ocra gialla*.

LL - cl 2 *verde chiaro*  
In questo campione sono presenti solo due strati: la base bianca ( 1 ) e uno strato verde chiaro di *resinato di rame*.

LD - cl 6 *giallo e verde foglia ( dopo la pulitura )*  
Sulla base bianca si ( 1 ) si notano uno strato giallo intenso, discontinuo, di *giallo di piombo* e poca *ocra gialla* ( 2 ); una steatura superficiale verde di *verderame con particelle gialle* ( 3 ).

LL - cl 7 *verde foglia*  
Anche in questo campione sono visibili tre strati: la base bianca ( 1 ), uno strato verde chiaro di *particelle minutissime di verderame e poco nero* ( 2 ) e, in superficie, agglomerati di grosse particelle di verde più ( *verderame* ).

LC - cl 11 *verde + oro+ verde ( piuma )*  
Su uno strato di *verderame e biacca, giallo di piombo e stagno e poca ocre gialla* ( 1 ) è applicata la *foglia d'oro* ( 2 ), velata di *resinato di rame*.

*Rosso:* *cinabro, ematite, ocre rossa, lacca rossa*

LL - cl 10 *rosso fondo + tracce di azzurrite in superf.*

ocra rossa, con qualche cristallo di azzurrite e patricelle di nero.

LC - cl 13 *oro + velatura rossa*  
Sulla foglia d'oro nota una velatura di *lacca rossa*.  
Mancano gli strati più profondi.

*Stagno:* *giallo, stagno + scialbo*

LC -cl 8 In questo campione manca lo strato di base bianco ( 1 ). Si osservano quattro strati:  
- strato discontinuo di carbonato di calcio e di magnesio con particelle di *ocra*;  
- lamina di *stagno*;  
- spesso strato giallo di *giallo di piombo*, *ocra gialla* in piccola quantità;  
- sottile strato bianco traslucido di *carbonato di calcio*, *carbonato di magnesio*, tracce di *silicati*.

*Pigmenti identificati:*

azzurrite, verderame, resinato di rame, ( malachite ),  
giallo di piombo, giallo di piombo e stagno, ocra gialla,  
ocra rossa, cinabro, nero c.

*Leganti*

Le prove di colorazione hanno indicato la presenza di leganti proteici ( *colla animale*, più raramente *uovo* ) nel colore.

Sostanze di natura resinosa ( *resina ed olio* ) sono state identificate in alcuni campioni ( v. ) nelle zone intermedie tra strati di colore successivi.

\*\*\*\*\*

TABELLA I

ANALISI PER FLUORESCENZA X ALLA MICROSONDA ELETTRONICA

CAMPIONE	ELEMENTI RIVELATI	PIGMENTI IDENTIFIC.
----------	-------------------	---------------------

LS - cl a  
BLU SERPENTE

3 - blu	Mg, Al, Si, Cu', Pb	azzurrite, biacca
2 - stagno	Si, Pb, Sn'	stagno
1 - giallo	Mg, Al, Pb', Ca', Fe	giallo di piombo (PbO), carbonato di Ca, "

LS - cl b

( campione analogo al precedente )

LS - cl 1  
VERDE CHIARO  
STRATIFICATO

4 - verde chiaro	Al, Mg, Si, Ca, Cu', Fe	verde rame, poca ocra gialla
3 - riga bruna	-----	sostanza resinosa
2 - verde, giallo	Al, Mg, Si, Ca, Cu', Fe	verderame, ocra g.
1 - bianco	Al, Mg, Si, Ca'	carb. Ca, carb. Mg

LL - cl 2  
VERDE CHIARO

2 - verde	Al, Mg, Si, K, Ca, Cu	verderame, poco car- bon, Ca, Mg
1 - bianco	Al, Mg, Si, Ca'	( v. )

Ls - cl 4  
BLU SOFFITTO

5 - blu	Al, Mg, Si, K, Fe, Cu'	azzurrite
4 - rosso	Al, Mg, Si, Ca, Fe	ocra rossa, nero
3 - rosso scuro	Al, Mg, Si, Ca'	

2 - bianco sottil	Al, Mg, Si, S, Ca'	carb. Ca, carb. Mg, tracce di gesso
1 - " " spesso		( v. )

---

LD - cl 6  
 GIALLO E VERDE  
 (foglia pulita)

4 - verde	Al, Mg, Pb, Ca, Cu', Fe	verderame, biacca in superf., ocra g.
3 - giallo discon	Al, Mg, Pb', Ca, Fe	giallo Pb, ocra g.
2 - bruno sottile	-----ù	sost. organica
1 - bianco	Al, Mg, Si, Ca'	( v. )

---

LC cl 8  
 FONDO SCURO  
 stemma aquila

4 - bianco sott.	Mg, Si, Pb, K, Ca'	scialbo ( ? )
3 - giallo	Mg, Al, Si', Pb', Fe, K, P	giallo Pb, ocra g.
2 - stagno	Sn', Pb, Cl	stagno
1 - biancotrosso	Mg, Al, Si', Ca', K, Fe, Pb, Cl, P	carbonati Ca, Mg ocra rossa

( presenza di caseina : Ca, P )

---

LC - cl 9  
 BRUNO VERDE  
 margine stemma

7 - rosso(tracce)	Mg, Al, Si, Ca', k, Fe	ocra rossa, carbon.
6 - blu	Mg, Al, Si, Ca, Cu'	azzurrite
5 - stagno	Sn'	
4 - giallino sott.	Mg, Al, Si, Ca, Pb', Fe	giallo Pb, ocra g.
3 - verde chiaro	Mg, Al, Si, Ca, Cu', Fe	verderame, " "
2 - bianco sott.	Mg, Al, Si, Ca'	( v. )
1 - bianco	" " " "	"

---

LC cl 11  
 ORO E VERDE  
 piuma

3 - verde(velat.)	Cu'	resinato di rame
2 - oro	Au	oro
1 - verde-giallo	Na, Al Si, Ca, Cu', Pb'', Sn', Fe	verderame, biacca, giallo di Pb e Sn

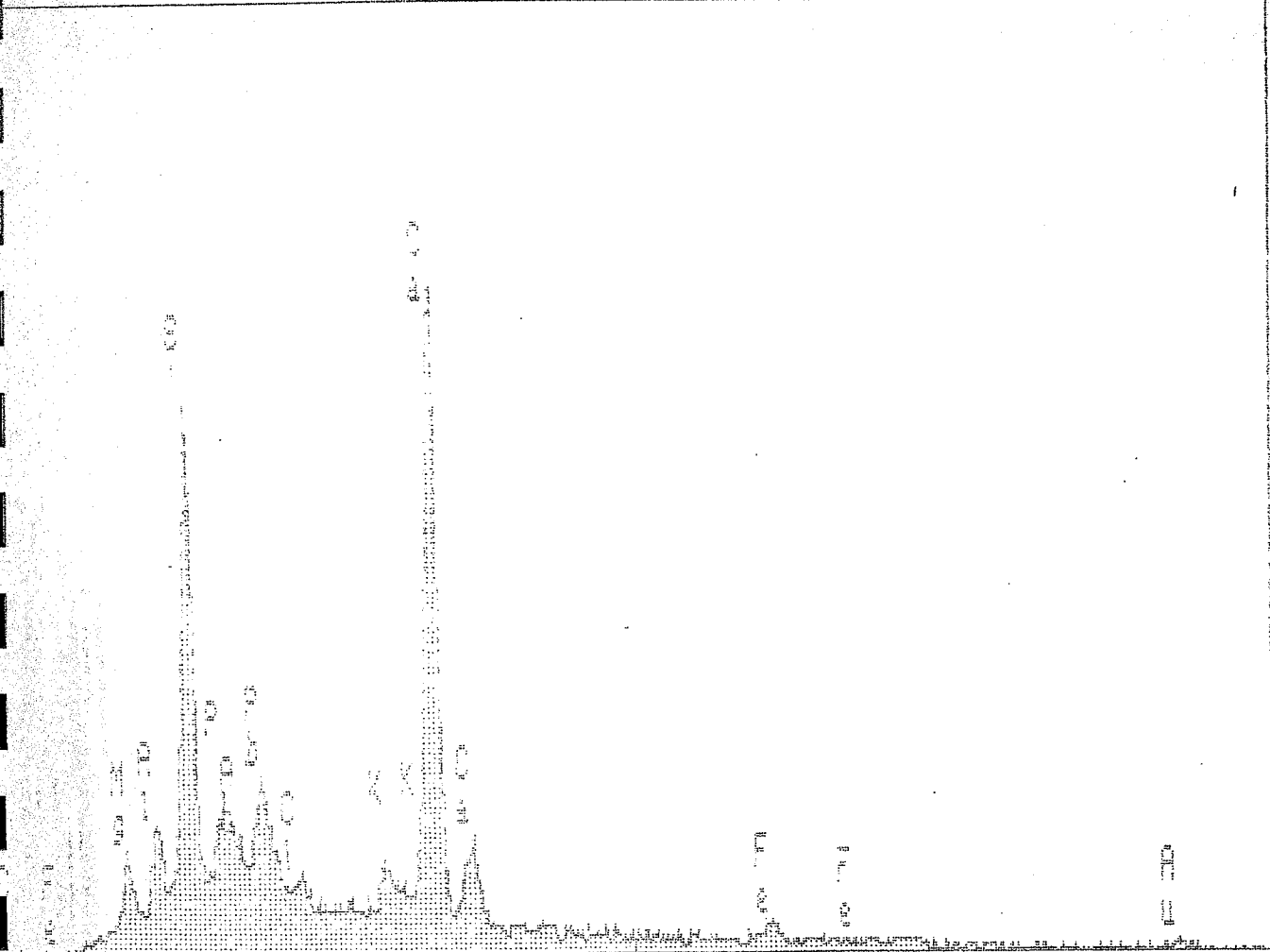
---



LEONARDO - CENACOLO

LUNETTA CENTRALE

1000 - 20 keV			
100% Present	100%	Remaining	0%
20% Dead	1%		

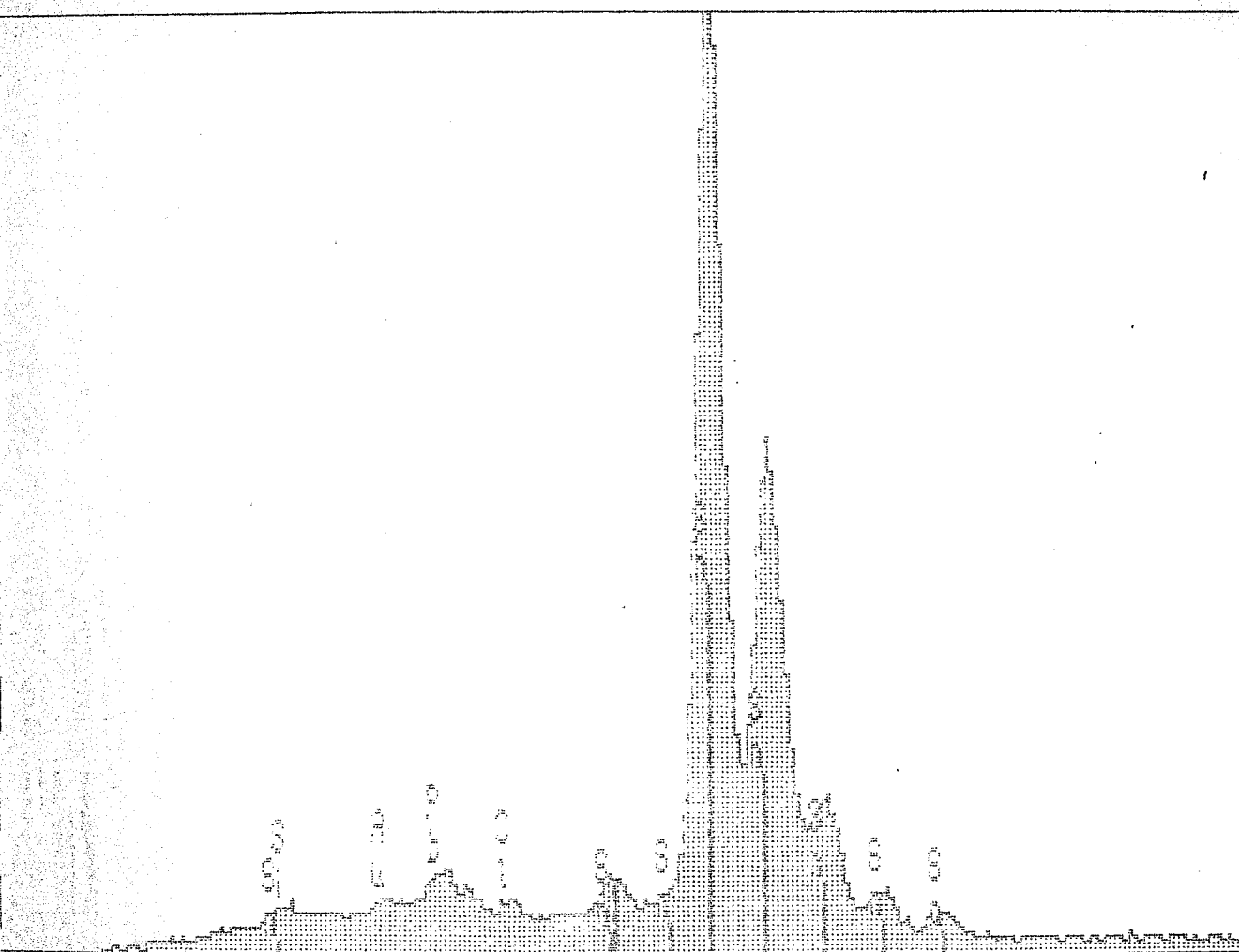


5.320 keV	10.4 %
ch 276 =	44 cts
frammento de 8 strato di base (1)	

LEONARDO - CENACOLO

LUNETTA CENTRALE

RAY: 0 - 20 keV  
live: 100s Preset: 100s Remaining: 0s  
rat: 144s 31% Dead

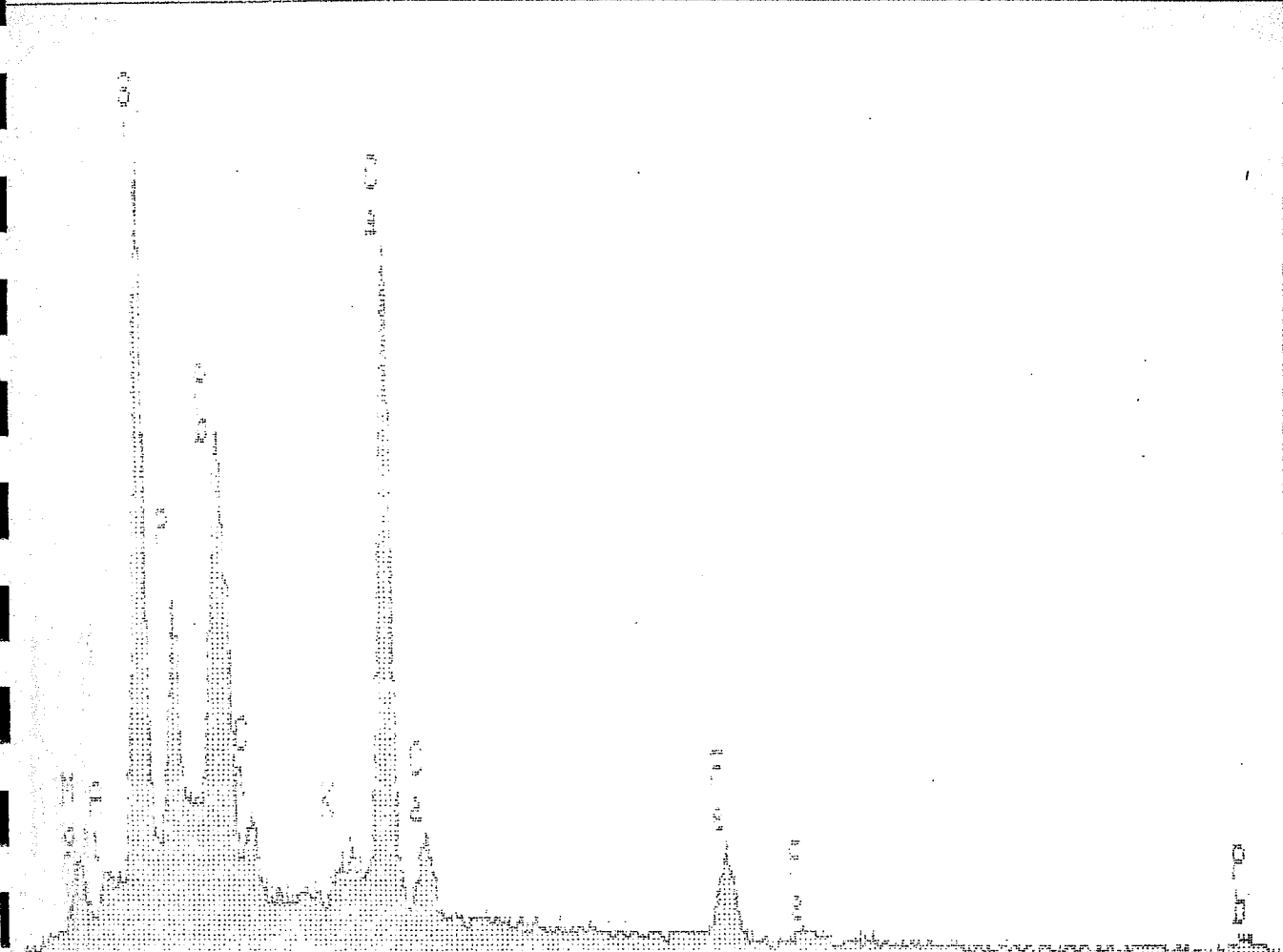


5.060 keV 5.6 >  
8K ch 163= 730 cts  
ITEM: frammento cc 8 strato di stagno (2)

LEONARDO - CENACOLO

LUNETTA CENTRALE

1000 - 20 keV  
1000 Counts 1000 Remaining: 0s  
20% Dead

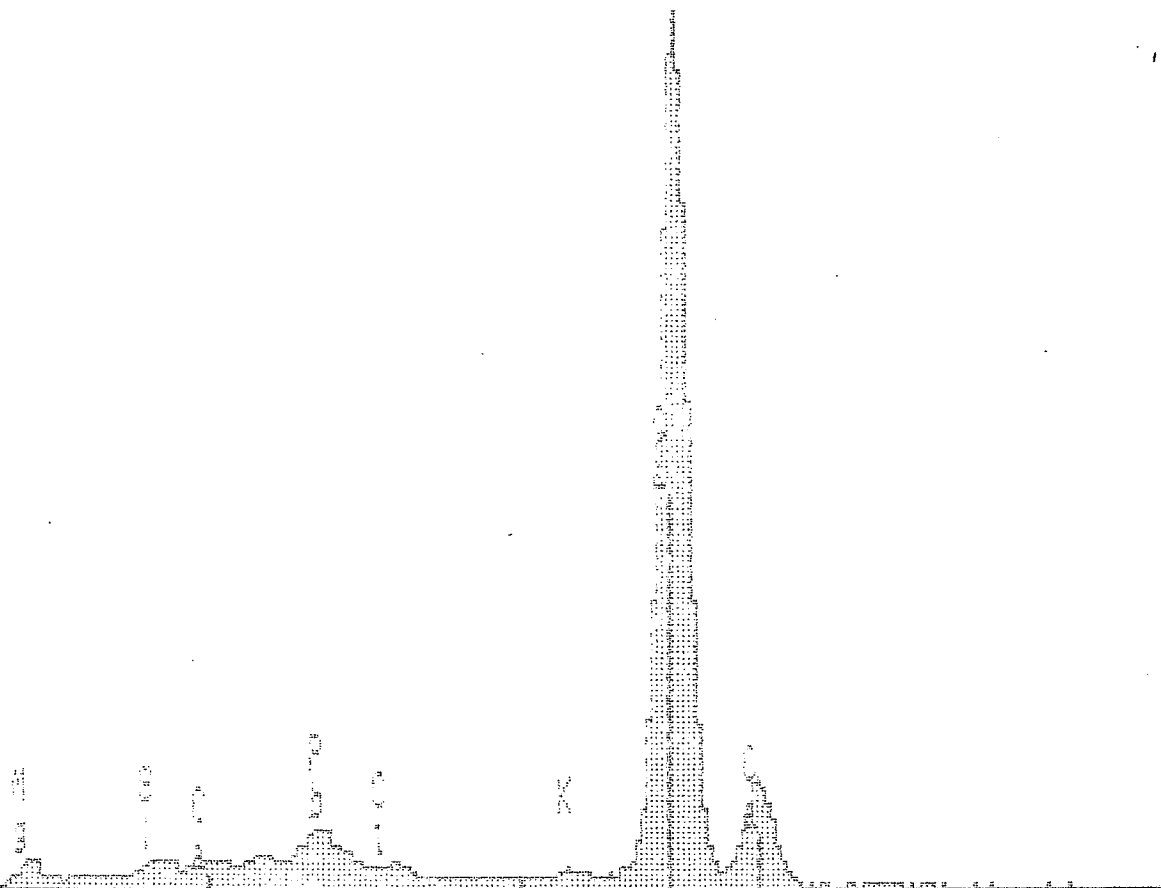


5.740 keV 10.9 >  
2K ch 297= 73 cts  
frammento cl 8 strato giallo (3)

LEONARDO - CENACOLO

LUNETTA CENTRALE

CH	166	159	cts
frammento	cl 8	strato bianco	(4)

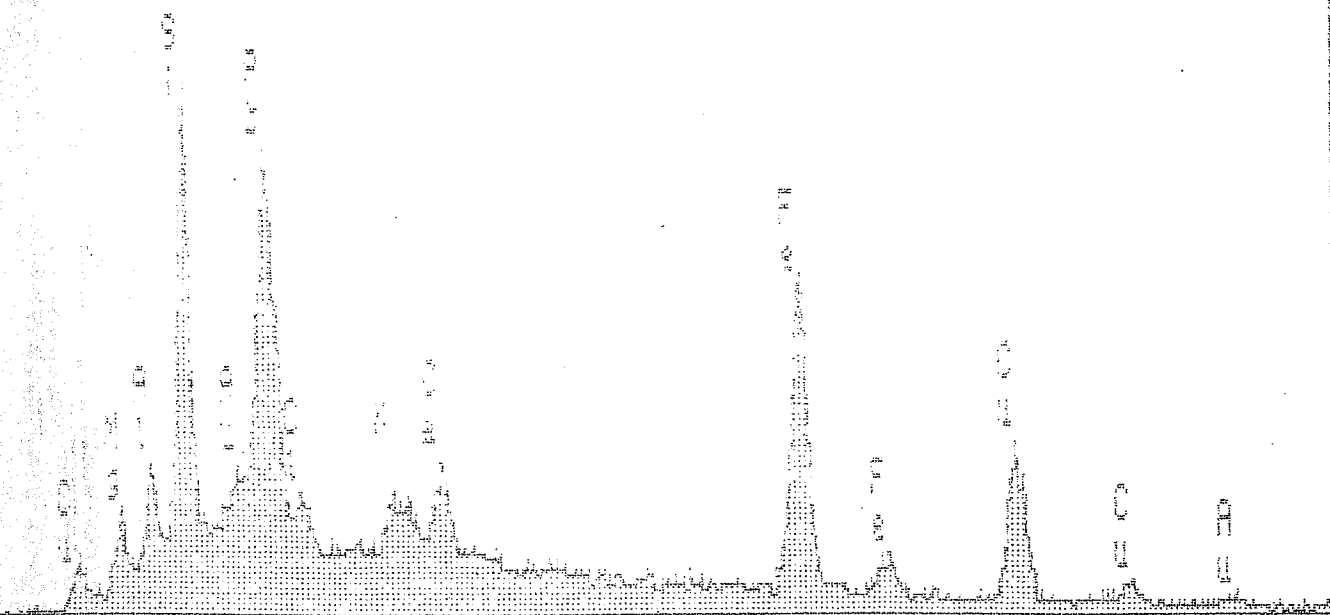


3.120 keV 5.7 >  
ch 166= 159 cts  
frammento cl 8 strato bianco (4)

LEONARDO - CENACOLO

LUNETTA DESTRA

RAY# 0 - 20 keV  
Live 100s Preset: 100s Remaining: 0s  
Dead 18% Dead

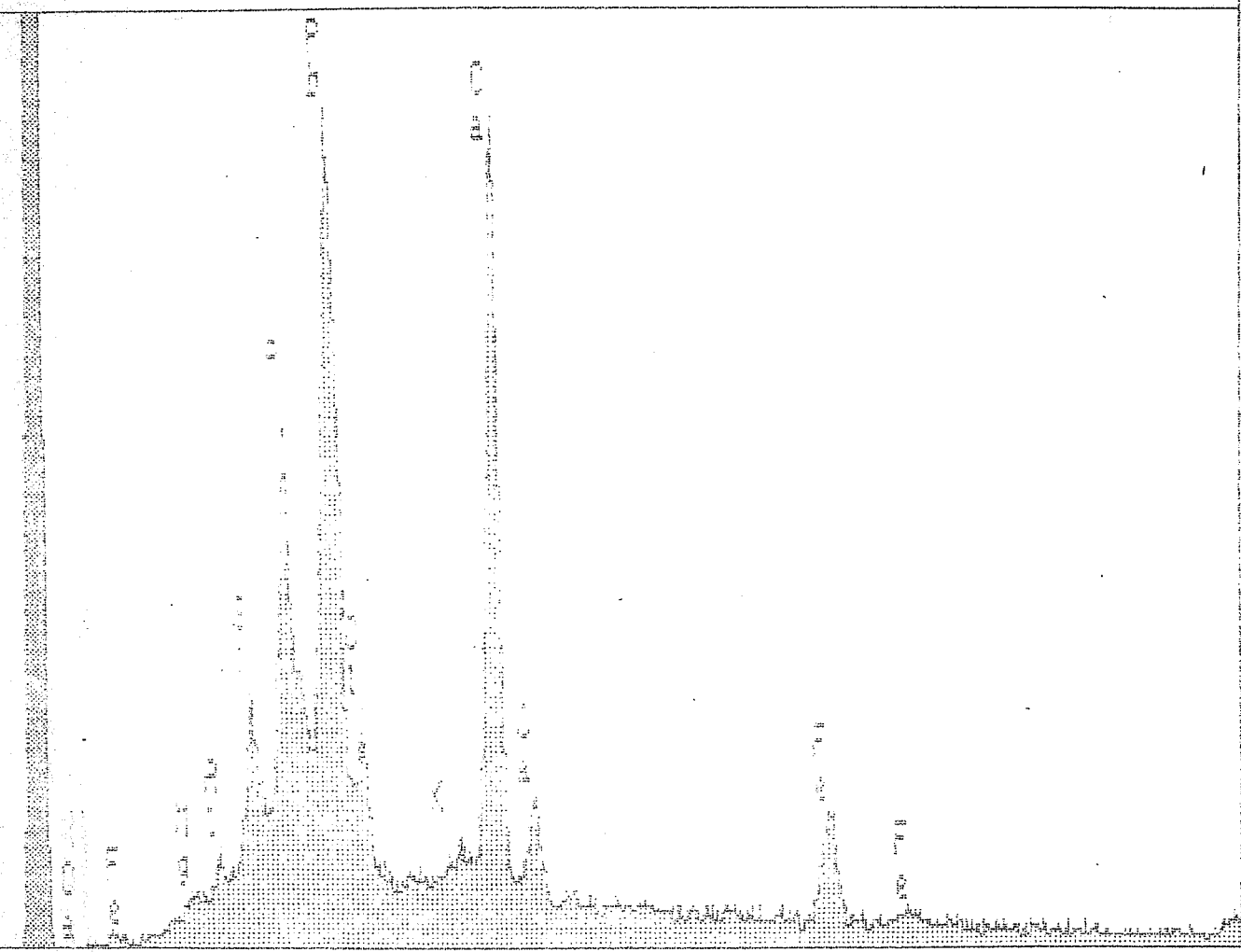


5.320 keV 10.4 >  
ch 276= 63 cts  
Fragment of cell 6" diameter generate

LEONARDO - CENACOLO

LUNETTA

0 - 20 keV  
100% Preset 100s Remaining 0s  
26% Dead

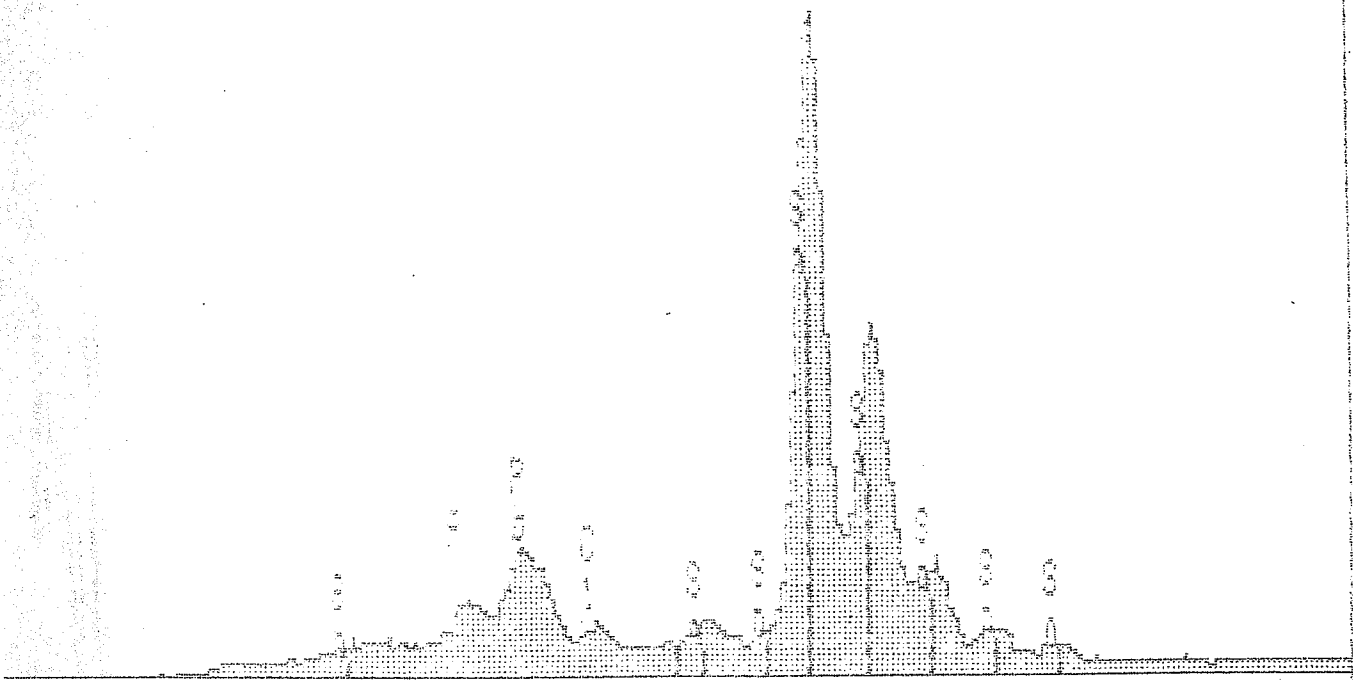


4.040 keV 9.8 >  
ch 242= 104 cts  
Aumento di strato giallo (4)

LEONARDO - CENACOLO

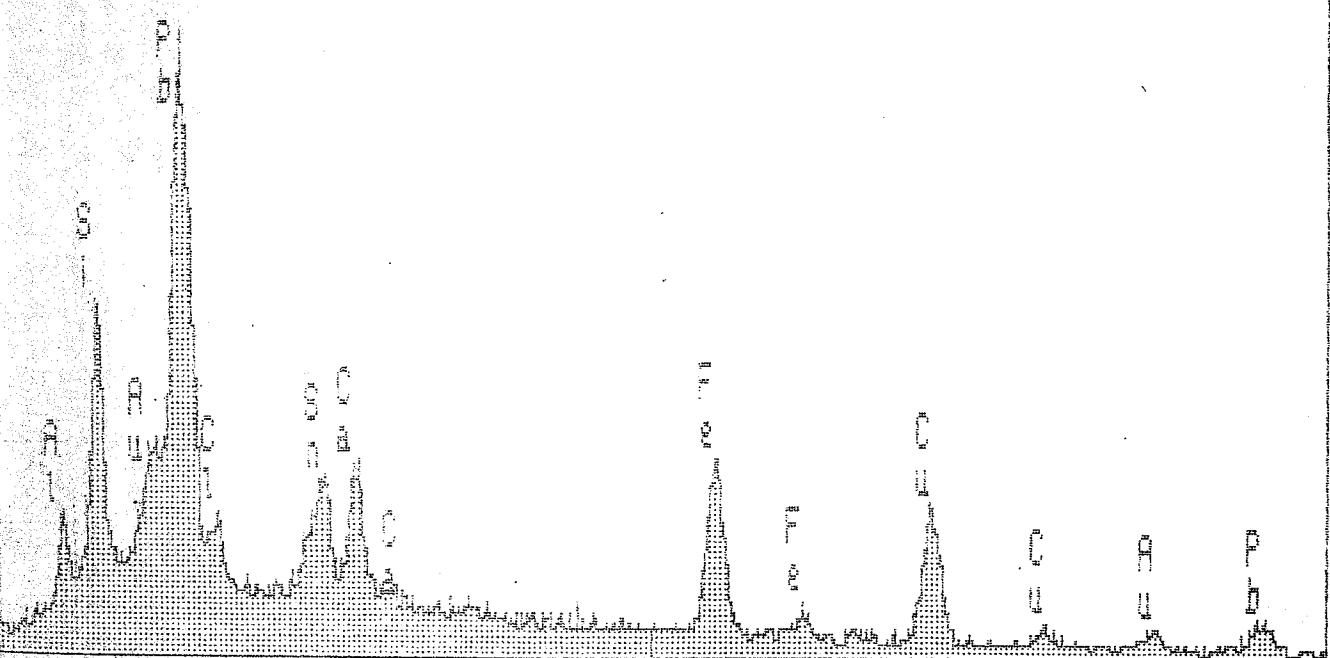
LUNETTA

X-RAY: 0 - 20 keV  
Live: 100s Preset: 100s Remaining: 0s  
Beam: 136m 26% Dead



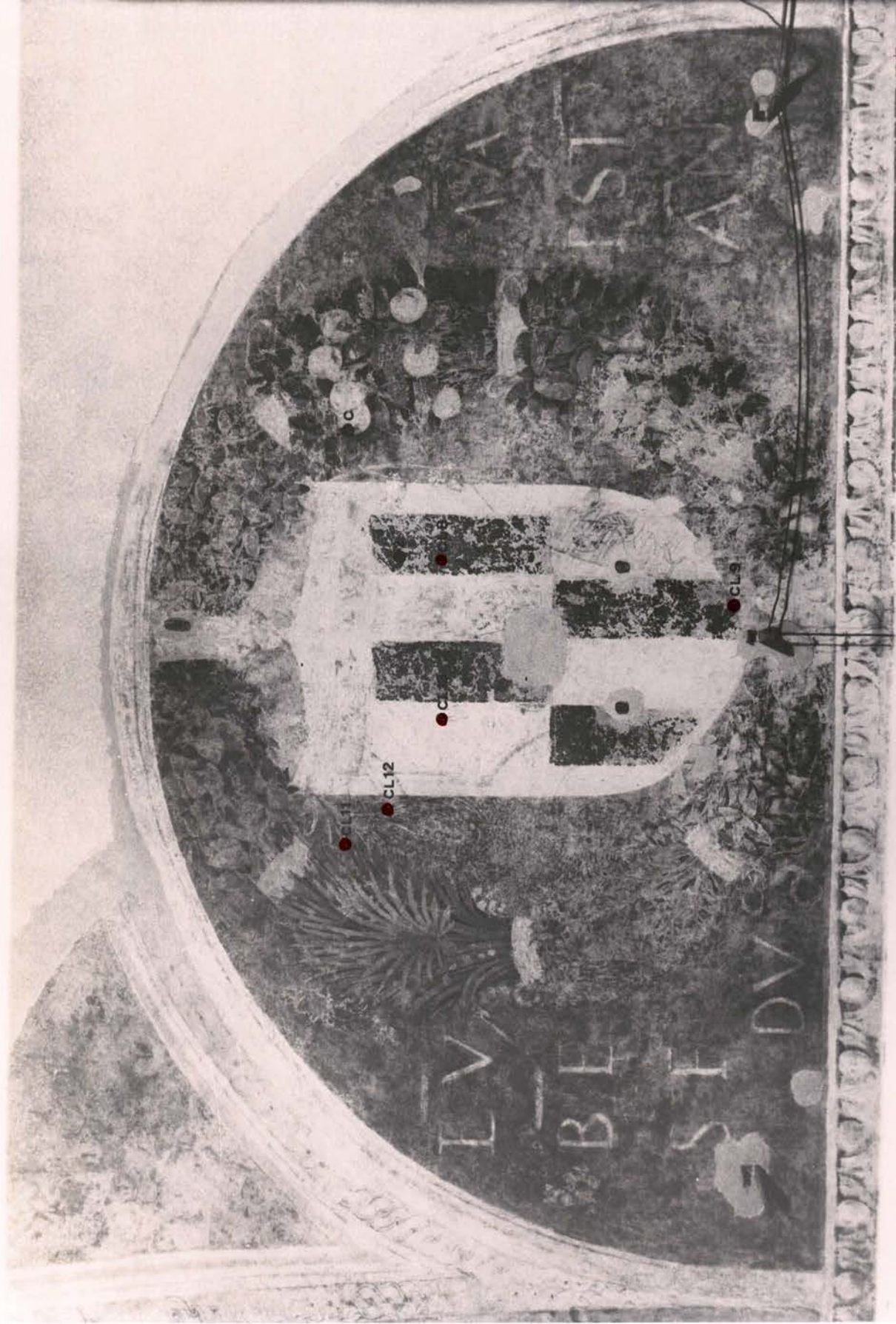
< 4 2.940 keV 5.5 >  
OK ch 157= 317 cts  
frammento cl : strato grigio (2)

-RAY: 0 - 20 keV  
live: 100s Preset: 100s Remaining: 0s  
real: 123s 19% Dead



5.920 keV 11.0 >  
ch 306= 77 cts  
cl 11 : STRATO VERDE DI BASE





● CL11  
CL12  
CL13  
CL8  
CL9

L. J. G. G. G. G.

L. J. G. G. G.





MAX AN P P

AN P P

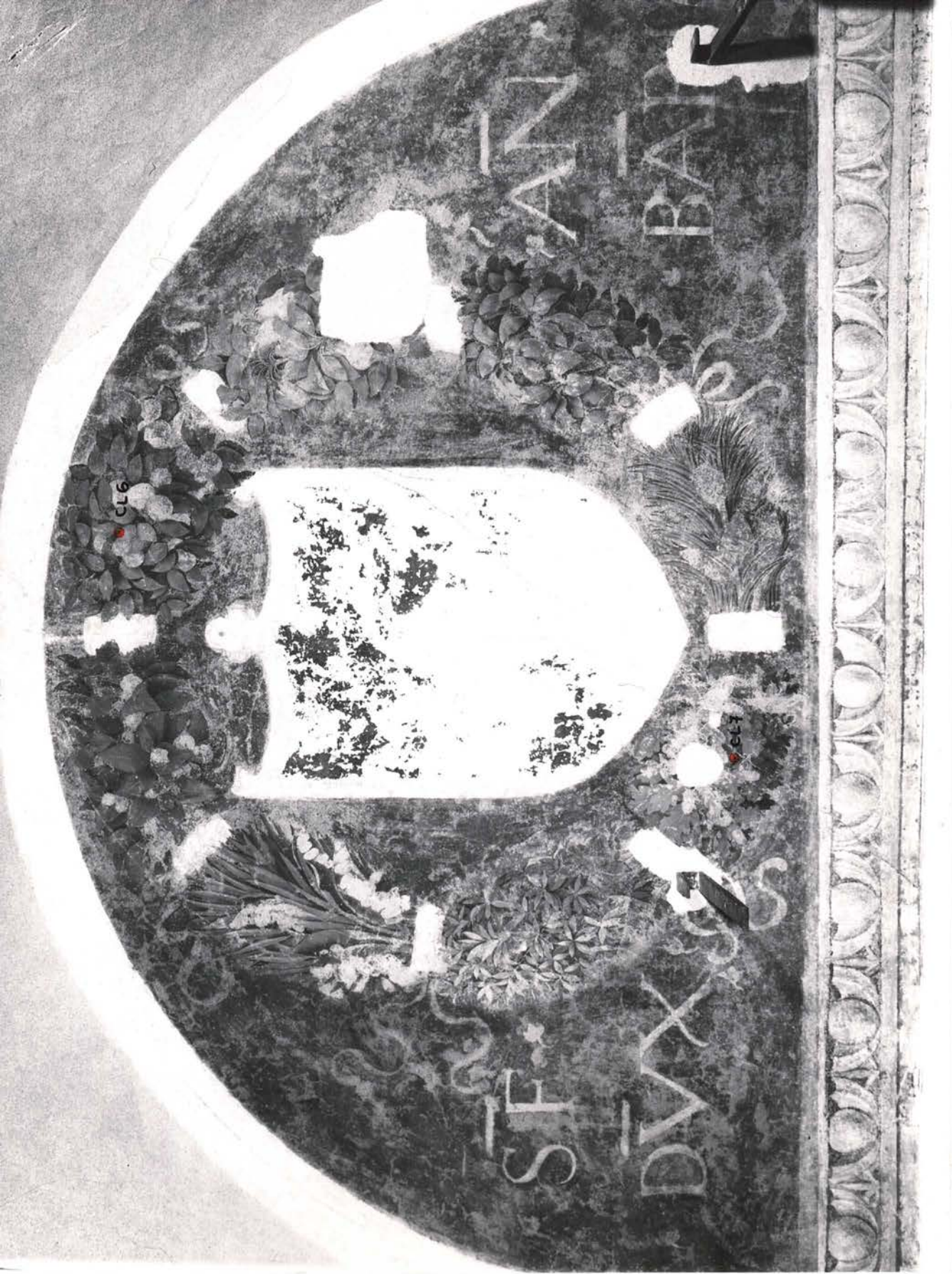
elo



CLO  
CLA  
CLB

Linnell & Kinnison





AN BAI

SF DVXXS

CL6

CL7

*Laurel machine*







CL10

CL11

CL12

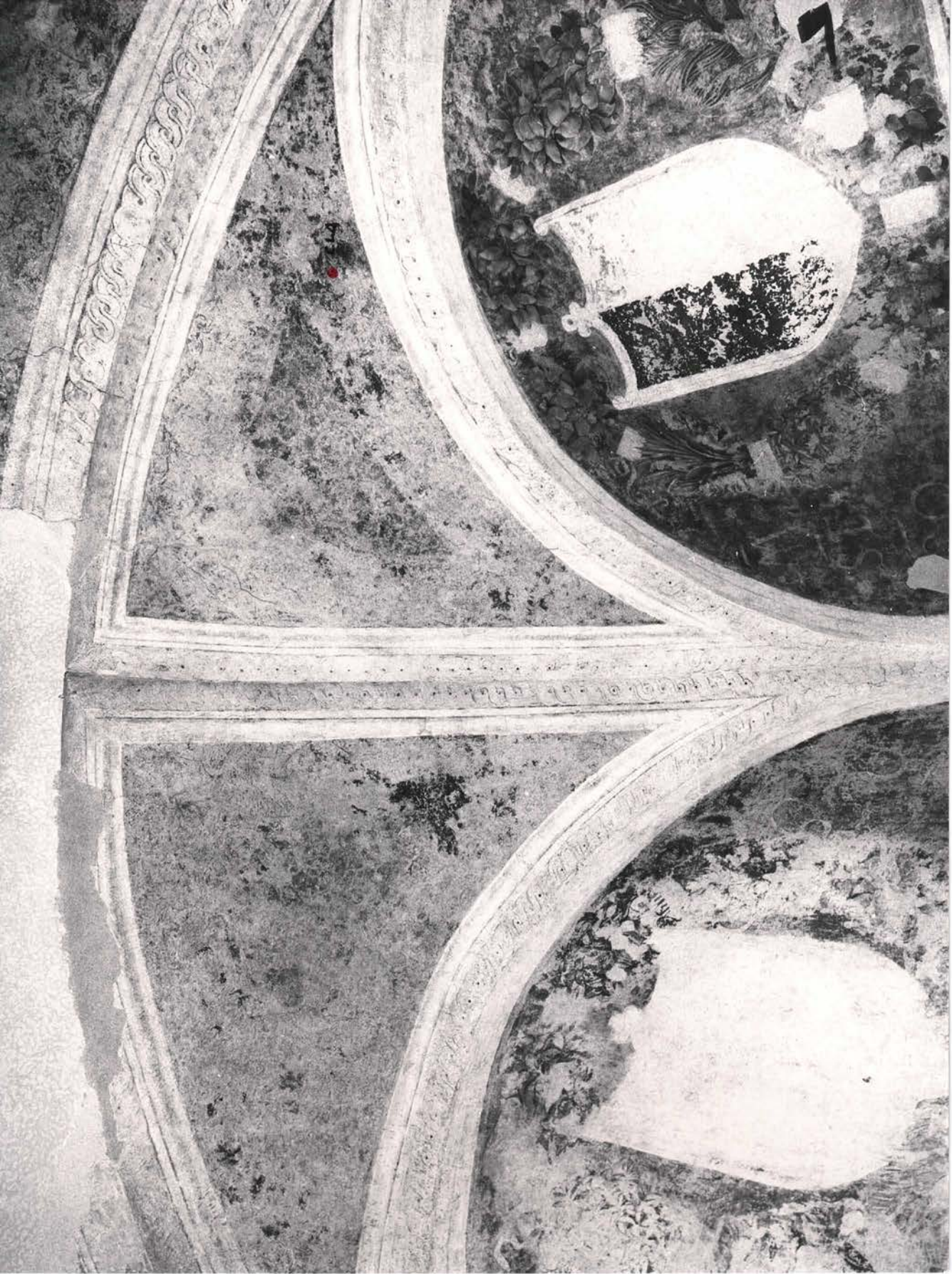
CL10

CL1

CL5

CL2





• CL4