



Tecniche Fisiche per i Beni Culturali

Giovanni BUCCOLIERI

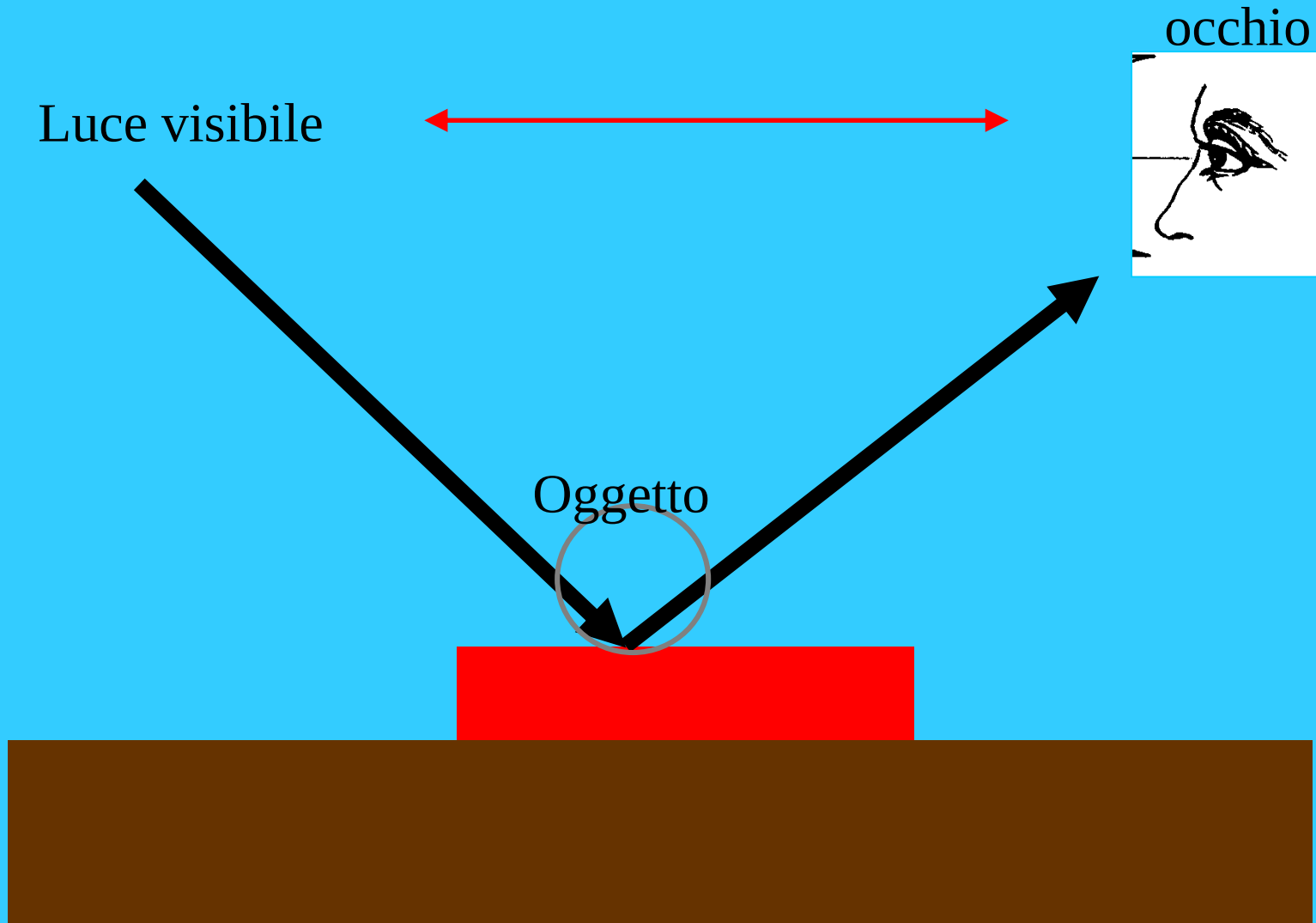
e-mail: giovanni.buccolieri@unisalento.it

Università del SALENTO

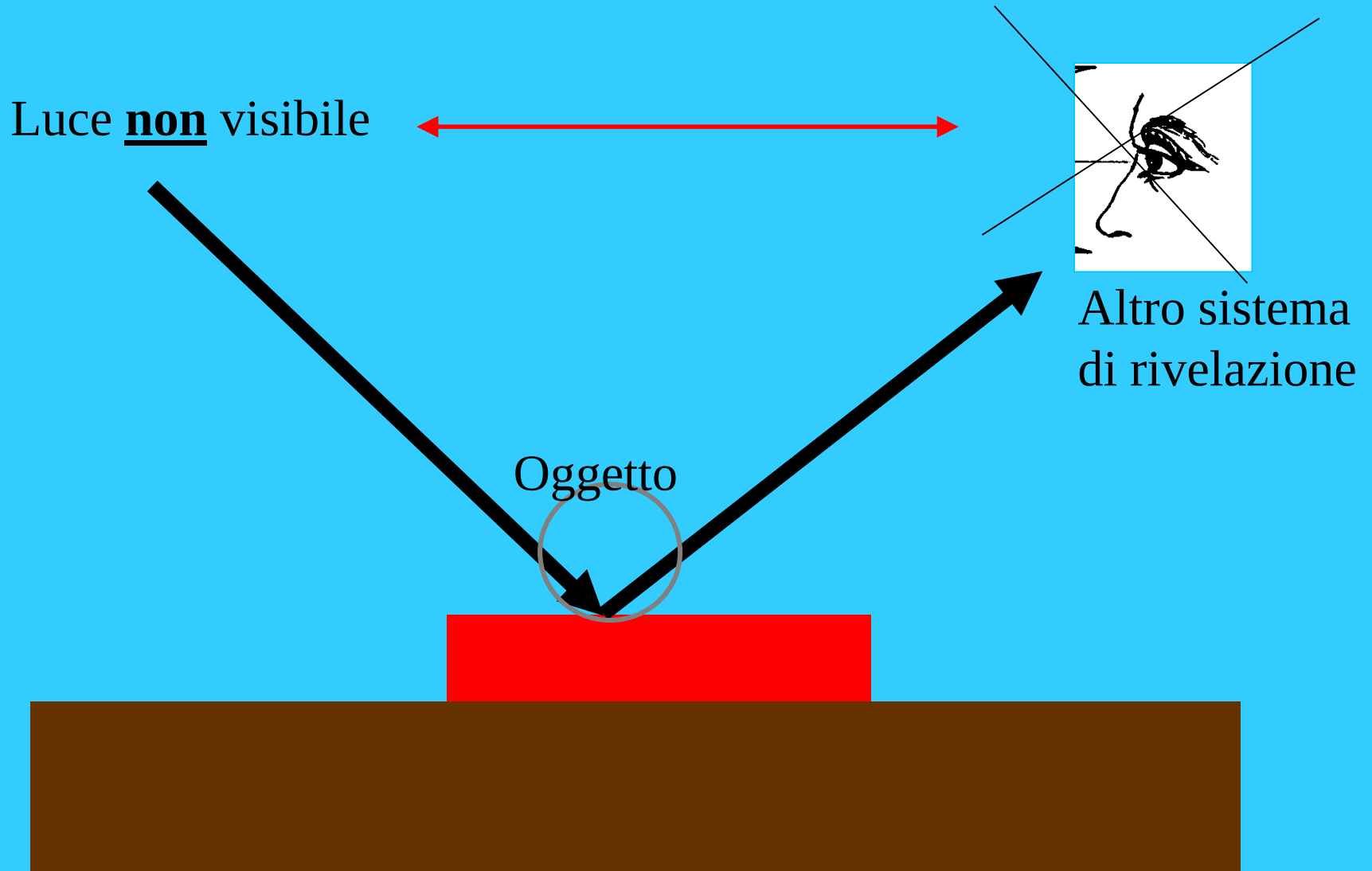
Scopo delle indagini

- Conoscenza
- Conservazione
- Restauro

Osservare un oggetto



Osservare un oggetto



Osservare con raggi X

I raggi X sono radiazioni elettromagnetiche con energia comprese tra alcuni eV (eV=elettronvolt) e circa 100 keV. L'elettronvolt rappresenta l'unità di misura dell'energia (lavoro) più usata in fisica delle radiazioni.

Un eV è uguale al lavoro compiuto su una particella di carica e (carica dell'elettrone $1.6 \cdot 10^{-19}$ C) quando viene spostata tra due punti la cui differenza di potenziale è pari ad 1 Volt.

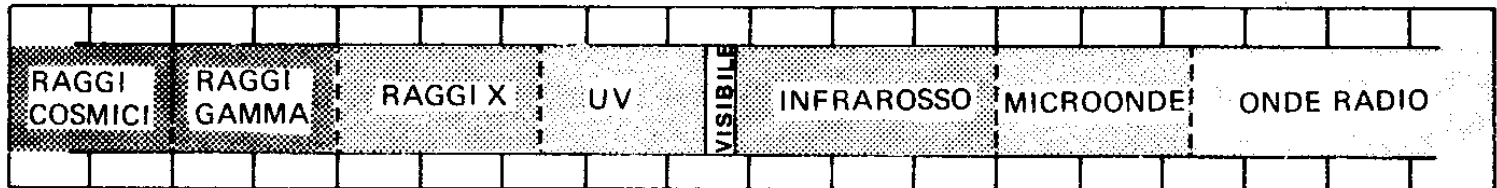
$$1\text{eV}=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

I raggi X sono prodotti dall'interazione con la materia di elettroni (o particelle cariche in generale) o fotoni (luce).

Lo spettro elettromagnetico

LUNGHEZZA
D'ONDA

m		1	10	10 ²													
cm		1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴											
μm		1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹				
nm	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹



ENERGIA
DEL FOTONE

Kcal/mole						28.7 · 10 ⁴	28.7 · 10 ²	28.7	28.7 · 10 ⁻²	28.7 · 10 ⁻⁴							
eV						1.24 · 10 ⁴	1.24 · 10 ²	1.24	1.24 · 10 ⁻²	1.24 · 10 ⁻⁴							

EFFETTO DELLA
INTERAZIONE CON
LA MATERIA

TRANSIZIONI NUCLEARI	TRANSIZIONI ELETTRONICHE		VIBRAZIONI MOLECOLARI	ROTAZIONI MOLECOLARI	ORIENTAZIONE DI SPIN NUCLEARI ED ELETTRONICI
	ELETTRONI INTERNI	ELETTRONI ESTERNI			

“Campioni analitici”

Basilica Santa Croce-Lecce

“Perseo” di Benvenuto Cellini - Firenze

L'altare d'oro di Sant'Ambrogio -Milano

Affreschi di Piero della Francesca - Arezzo

Affreschi della scuola Mitrea - Basilica Inferiore di San Clemente - Roma

Cappella degli Scrovegni, Giotto - Padova

Apparato argenteo Basilica San Nicola - Bari

David di Michelangelo - Firenze

Affreschi di Raffaello - Musei Vaticani

Statua bronzea S. Castromediano – Lecce

Chiesa di Santo Stefano – Soleto (LE)

Opera in cartapesta “Madonna con Bambino” Iacopo Sansovino, Museo di Budapest

“Bronzi di Riace” Reggio Calabria

I Bronzi di Riace

Museo Archeologico Nazionale di Reggio Calabria

Giovanni Buccolieri¹, Alfredo Castellano¹,
Paola Donati², Alessandro Buccolieri³ e
Maurizio Marabelli².

1 Dipartimento di Matematica e Fisica, Università del Salento

2 Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro, Roma

3 Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Università del Salento

I BRONZI DI RIACE

Il 16 agosto del 1972, nelle acque dello Jonio, a trecento metri da riva e otto metri di profondità, a ridosso della marina del comune di Riace, furono notate nella sabbia le sporgenze di due bronzi in seguito denominati "Bronzi di Riace". Gli studiosi li associarono all'arte della cultura greca del V secolo a.C..

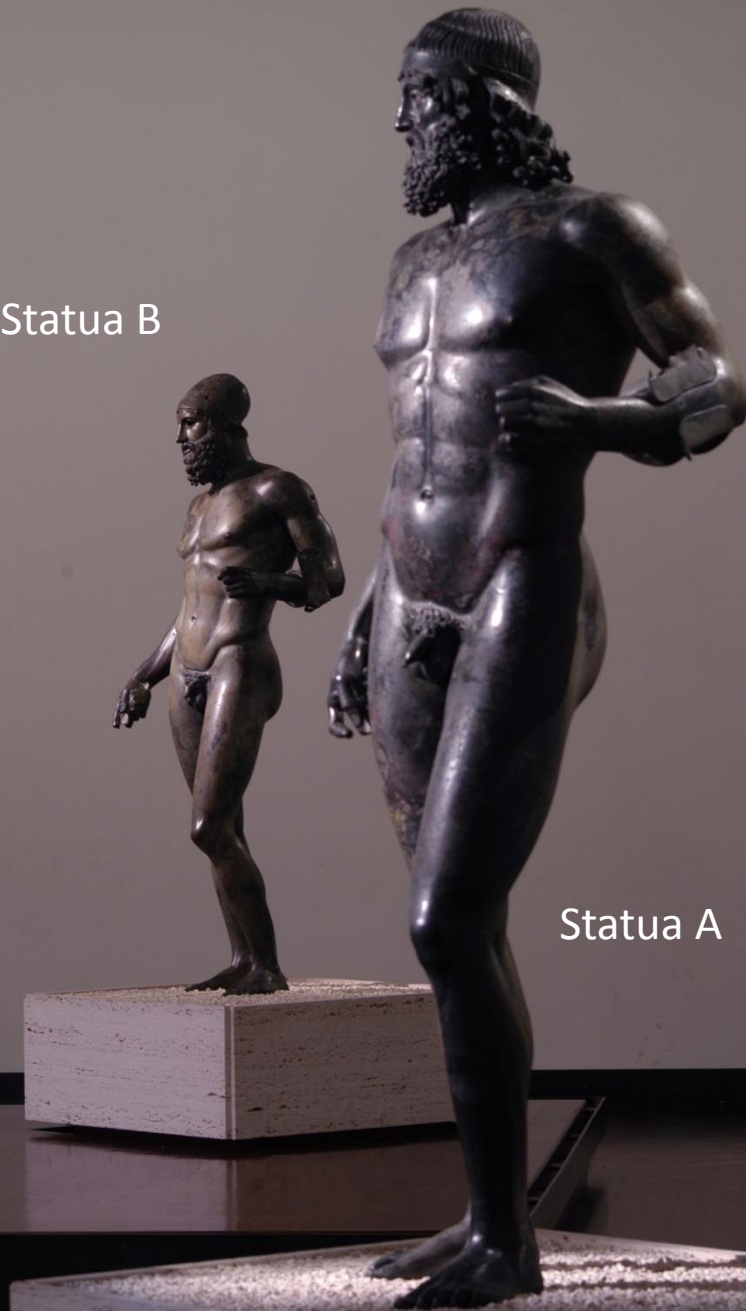
Furono in restauro presso la Soprintendenza di Reggio Calabria fino al 1975 e poi trasferiti presso il laboratori di restauro dell'*Opificio delle Pietre Dure* di Firenze dove furono analizzati e restaurati. I restauri proseguirono fino alla fine del 1980. Furono esposti per sei mesi a Firenze e riportati poi a Reggio Calabria.

Nel 1990 sono comparsi fenomeni di degrado: le statue sono quindi state svuotate dai resti delle terre di fusione.

Statua B



Statua A



Nel 2010 i Bronzi sono sottoposti ad una campagna di diagnostica al fine di valutare lo stato di conservazione ad opera dell'*Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro* di Roma.



Il Prof. Maurizio MARABELLI ha diretto i lavori e il Laboratorio di Archeometria dell'Università del Salento ha curato lo studio delle patine.

The Riace Bronzes are two statues discovered on 16 August 1972 in the Ionian Sea, near the coast of Riace (Reggio Calabria, Southern Italy), at a distance of about two hundred metres from the coast and at a depth of about eight metres. The Riace Bronzes represent two bearded warrior and they are named respectively as Bronze A “*The Young*” and Bronze B “*The Old*”.

Statue A is 1.98 metres high, whereas Statue B is 1.97 metres. According to the most reliable sources, both statues are dated in the fifth century BC and, more specifically, Bronze A is dated from around 460 BC, and Bronze B refers to about 430 BC. The latest study of radiocarbon dating has allowed to obtain ages ranging between 517 and 394 BC for statue A, and between 509 and 394 BC for statue B.

The statues were probably made in Greece and subsequently removed to be transported to Rome, where they never arrived because the boat that was carrying the precious cargo sank in Ionian Sea and it ended up submerged in sand until 1972, when the two sculptures were found. The very long stay underwater heavily corroded the two masterpieces and this has demanded extensive studies for their restoration and conservation.

The first cleanings and the removal of the marine concretion were accomplished in 1975 in Reggio Calabria. The two statues were later transferred to Opificio delle Pietre Dure in Florence, where from 1975 to 1980 they were exposed to a total surface cleaning and analysis. In particular, the patinas on Bronze B were partially eliminated through a mechanical cleaning.

(a)



(b)



Table 1 summarizes the median values of the concentration of elements determined on the alloy of the two statues during the restoration of 1975-1980 in Florence. Both sculptures are made of a copper-tin binary alloy. The average thickness of the alloys is about 8.5 mm and 7.5 mm for Bronze A and for Bronze B respectively, even if the thickness varies widely between 4 and 12 mm. However, these values are typical of the Archaic and Classical age.

Table 1	Bronze A		Bronze B	
	Body	Head	Body	Head
Fe	0.13	0.035	0.16	0.13
Cu	88.8	87.35	90.08	85.94
Sn	10.75	12.41	9.26	13.5
Zn	-	0.004	0.01	0.005
Pb	0.12	0.062	0.155	0.233
Ag	0.037	0.021	-	-
Ni	0.012	0.016	0.021	0.020
Co	-	-	-	-
Ca	0.102	0.068	0.257	0.129
Mg	0.032	0.023	0.041	0.05

EDXRF portable equipment, which was assembled in our laboratory, is mainly composed of an X-ray tube (MOXTEK Inc., USA) and of a detector Si-PIN (Amptek Inc., USA). The detector has a resolution of energy of about 180 eV at 5.9 keV. The output of the X-ray tube is highly collimated and the analyzed area has a diameter of about 3 mm.

For each measuring point, two EDXRF spectra were acquired, both with acquisition time of 30 seconds and with a tube voltage of 6 kV (at 40 μ A) or of 20 kV (at 3 μ A).

A set of standard samples, with known chemical compositions, were used to calibrate the apparatus and to obtain reliable experimental data. For standards preparation were used copper sulfide (CuS), copper(I) chloride (CuCl), manganese oxide (MnO₂), iron, zinc, lead(II) oxide (PbO), lead dioxide (PbO₂), minium or lead tetroxide (Pb₃O₄), tin dioxide (SnO₂), copper(I) oxide (Cu₂O) and copper(II) carbonate basic (CuCO₃·Cu(OH)₂). All chemical compounds were purchased from Sigma-Aldrich with analytical grade.

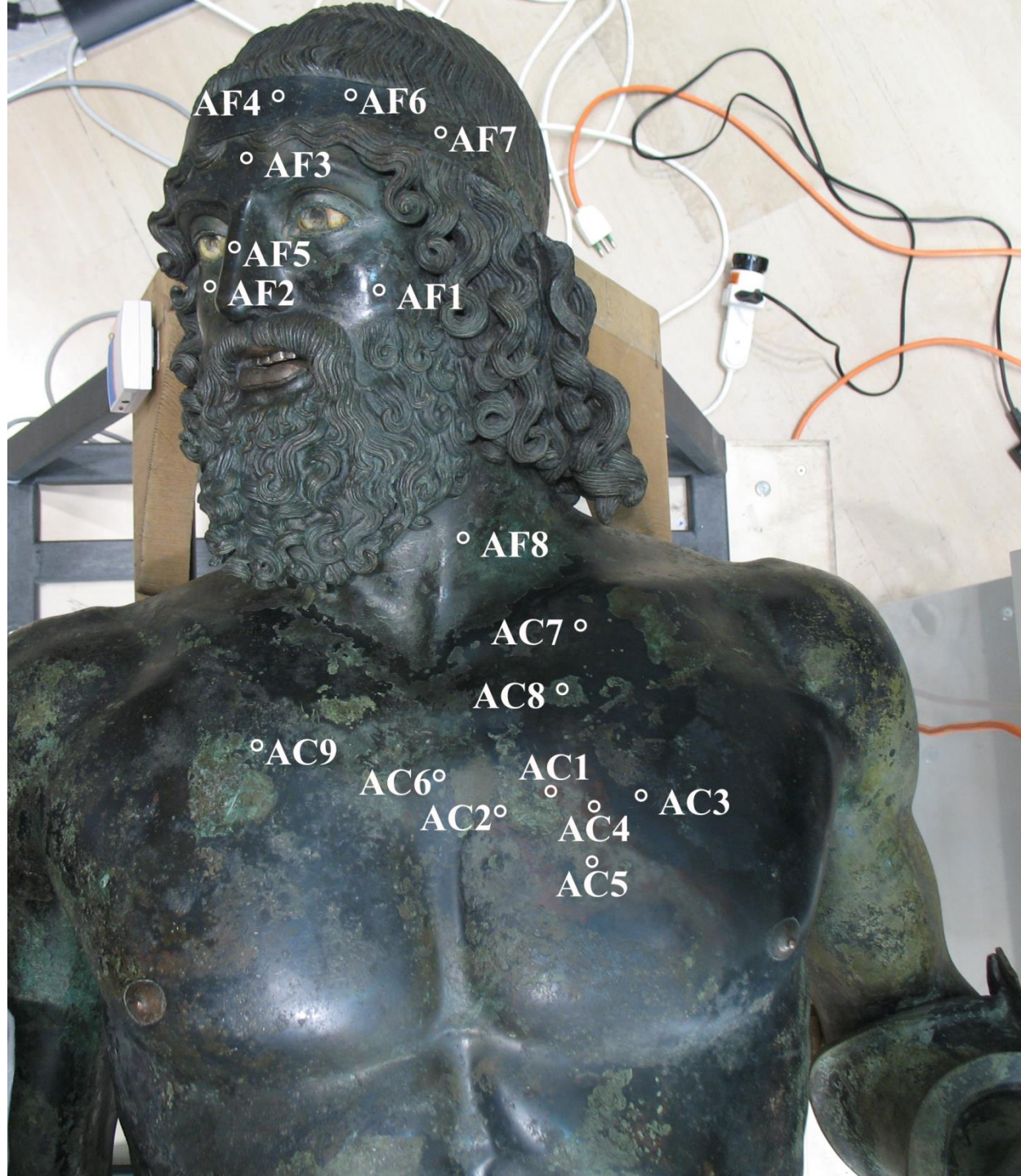
A thickness of cuprite (Cu₂O) from 40 micrometres reduces by a factor of 100 the intensity of a radiation at 10 keV, therefore both the standard samples (about 2 mm thick) and the bronze analyzed can be considered thick samples.

A close visual examination of both Riace Bronzes has allowed to differentiate the typologies of patinas present on the two statues.

Statue A shows mainly three different patinas: a **green patina** with various hues, quite uneven and with reduced thickness, alternated with a second patina, **brown**, thin, and with a third one patina, **black** on the top, multilayer, smooth, apparently compact, dense and homogeneous. Sometimes, the third patina is concealed by a **red** layer of a compound rich of copper, probably caused by deposited cupper (then oxidized to cuprite, Cu_2O), already analysed at the time of the first investigations following the discovery of the statues.

Statue B is largely covered by a **brown-yellow-green patina**, that appeared unusual, probably at least partially artificial, alternated with a thin brown patina and a few residual islands of the black patina.

Table 2 and Table 3 summarize the elements concentrations determined by using EDXRF respectively on the surfaces of statue A and of statue B. For each measurement point, the label, the description of the patina and the concentration of determined elements are shown in the tables.



AF4°

°AF6

°AF7

°AF3

°AF5

°AF2

°AF1

°AF8

AC7°

AC8°

°AC9

AC6°

AC1°

AC2°

°AC4

°AC3

°AC5



° AA1

° AA2

° AA3

AA4 °

° AA5

° AL4

AL1 °

° AL2

° AL6

AL5 °

° AL3

° AL7



° AB2

° AB3

° AB1

Label	Description of the patina	S	Cl	Sn	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
AF1	Black patina on the face, the left cheekbone	7.4	4.5	13.6	0.6	7.1	58.1	<1.0	3.6
AF2	Green patina on the face, right cheekbone	4.0	3.1	23.0	0.5	6.4	59.0	<1.0	3.2
AF3	Black patina on the face	6.6	<1.5	25.4	0.6	7.4	49.7	<1.0	<2.0
AF4	Black patina on the hair band	8.4	2.0	33.5	0.7	10.7	23.4	<1.0	3.1
AF5	Black patina on the nose	6.2	2.1	27.8	0.6	6.0	45.9	<1.0	2.0
AF6	Black patina on the hair band	7.1	2.9	8.2	0.5	4.4	74.0	<1.0	2.6
AF7	Brown patina on the hair band	2.2	4.9	23.9	0.3	4.6	61.2	<1.0	2.6
AF8	Brown patina (and rough) on the neck	4.6	3.9	18.7	0.3	3.9	66.0	<1.0	2.2
AC1	Red patina (above black) on the chest	4.9	3.9	5.4	<0.2	3.5	73.5	<1.0	3.3
AC2	Green patina on the chest	3.7	2.6	31.1	0.3	5.6	53.4	<1.0	3.0
AC3	Black patina on the chest	10.1	2.1	15.9	<0.2	4.7	63.9	<1.0	3.1
AC4	Red patina (above black) on the chest	5.3	4.2	<3.0	<0.2	2.5	79.6	<1.0	3.1
AC5	Red patina (above black; green hue) on the chest	3.6	2.3	7.2	<0.2	1.8	72.1	<1.0	2.8
AC6	Black patina (green hue) on the chest	9.8	1.8	6.4	<0.2	7.9	28.6	<1.0	3.8
AC7	Black patina on the chest	11.1	2.6	4.0	<0.2	2.7	73.3	<1.0	3.2
AC8	Green patina on the chest	3.7	1.7	32.1	1.2	10.0	36.6	<1.0	3.2
AC9	Green patina on the chest	<0.5	10.9	10.3	<0.2	3.3	69.5	<1.0	3.5
AA1	Red patina on the abdomen	6.8	4.6	1.1	0.5	10.1	72.4	<1.0	<2.0
AA2	Black patina on the abdomen	8.1	3.4	9.7	<0.2	3.9	73.5	<1.0	<2.0
AA3	Green patina on the abdomen	5.0	<1.5	32.5	0.5	5.7	53.4	<1.0	<2.0
AA4	Red patina (above the black) on the abdomen	7.6	3.6	10.2	<0.2	5.4	64.6	<1.0	<2.0
AA5	Green patina on the abdomen (near the corrosion craters)	5.2	6.4	18.7	0.5	6.7	62.0	<1.0	<2.0
AL1	Black patina on the left leg	12.0	1.9	9.8	0.3	4.1	69.5	<1.0	2.2
AL2	Red patina (above black) on the left leg	8.7	3.3	5.6	0.3	4.0	74.6	<1.0	2.3
AL3	Green patina on the left leg	8.1	1.8	23.4	0.3	9.0	29.9	<1.0	<2.0
AL4	Green patina on the left leg	0.8	15.7	5.1	0.3	4.5	62.7	<1.0	2.0
AL5	Whitish patina on the left leg	7.6	<1.5	23.1	0.5	5.9	57.5	<1.0	2.5
AL6	Red patina (above black) on the left leg	<0.5	5.3	<3.0	0.3	4.3	81.7	<1.0	3.0
AL7	Black patina on the left leg	12.5	2.8	5.3	<0.2	3.2	73.6	<1.0	2.4
AB1	Black patina on the right bicep	11.8	2.0	2.3	0.3	3.1	72.2	4.3	<2.0
AB2	Green patina (above the black) on the right bicep	<0.5	14.9	4.1	0.3	4.9	71.9	<1.0	<2.0
AB3	Gray-green patina (under the black) on the right bicep	5.1	2.3	27.4	0.4	6.7	57.6	<1.0	<2.0
AFO1	Black patina on the left foot	8.3	2.6	26.6	0.7	8.1	50.2	<1.0	2.9

Table 2: Bronze A



° BF1

° BF2

° BF3

° BF5

° BF6

° BF4

° BC4

° BC2

° BC3

° BC5

BC6 °

° BC1

° BA2

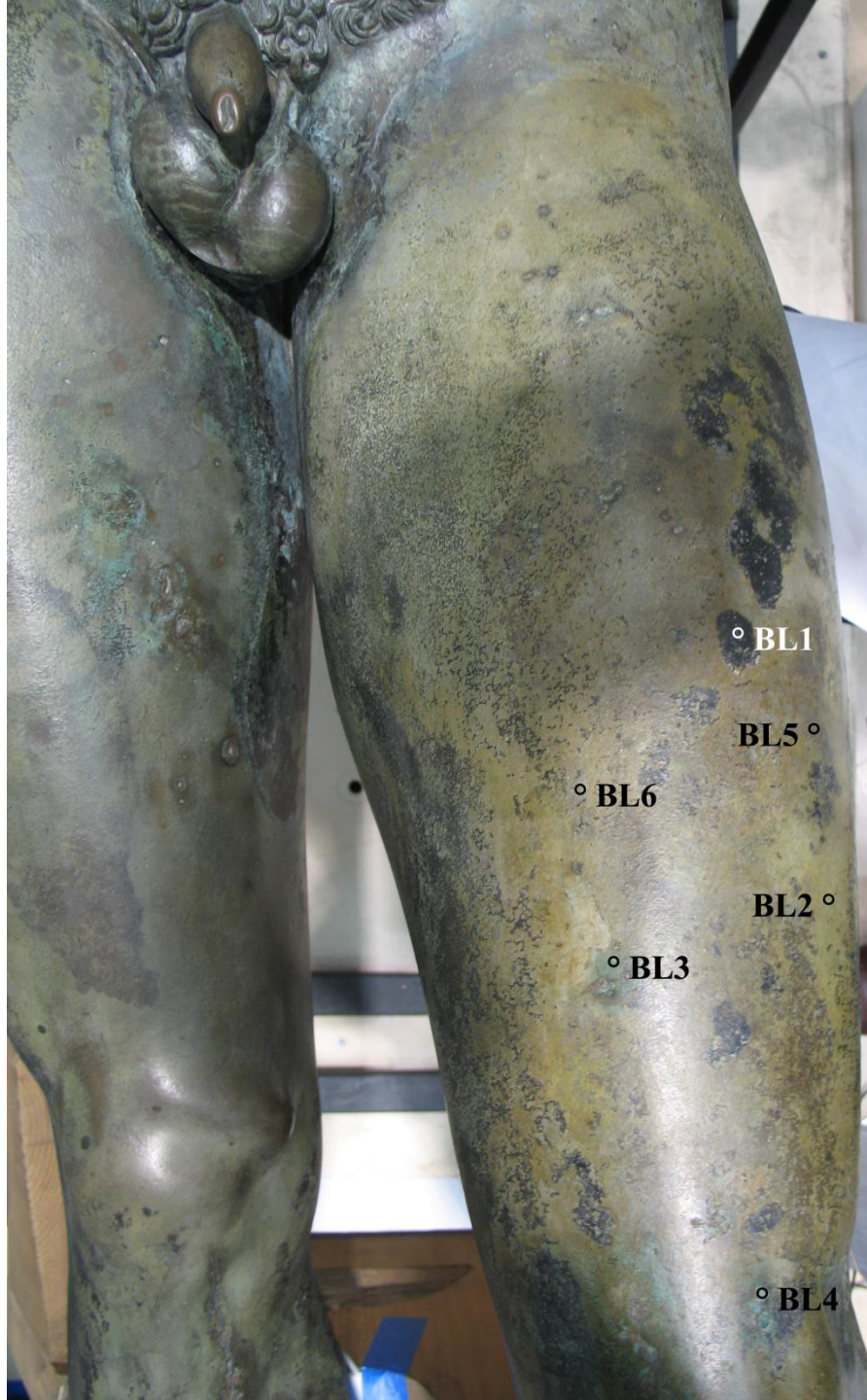
° BA1

° BA7

BA4 ° ° BA5

° BA6

° BA3



◦ BL1

BL5 ◦

◦ BL6

BL2 ◦

◦ BL3

◦ BL4

Label	Description of the patina	S	Cl	Sn	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
BF1	Red on black patina on the helmet	<0.5	4.0	18.9	0.3	2.0	56.5	2.8	3.1
BF2	Green patina between the two eyes	<0.5	1.9	39.6	0.5	3.9	18.6	4.0	3.2
BF3	Dark brown patina on the nose	<0.5	2.1	37.6	0.4	2.2	44.6	<1.0	2.7
BF4	Green patina on the left cheek	3.1	1.5	41.9	0.3	1.7	41.7	4.8	3.9
BF5	Black patina on the left cheek	9.2	2.3	35.5	0.5	4.0	25.9	3.3	3.8
BF6	Black patina on the right cheek	2.1	3.0	39.0	0.6	6.8	27.1	4.1	4.6
BC1	Green patina on the right chest	<0.5	2.9	42.8	0.7	5.7	18.2	<1.0	2.8
BC2	Brown patina on the right chest	3.2	1.9	18.9	0.2	3.4	64.2	4.6	3.3
BC3	Green patina on the right chest	<0.5	<1.5	42.8	0.8	5.0	19.2	4.5	3.8
BC4	Brown patina on the right chest	3.6	1.9	17.4	<0.2	1.3	62.3	4.7	3.5
BC5	Dark brown patina on the right chest	<0.5	1.9	38.6	0.7	6.0	23.5	3.5	3.5
BC6	Black patina on the right chest	7.0	1.5	24.4	0.7	5.7	16.7	2.8	3.8
BA1	Green patina on the abdomen	2.2	<1.5	41.4	0.3	4.6	10.0	2.5	4.2
BA2	Brown-yellow-green patina on the abdomen	1.1	<1.5	43.6	0.8	5.0	14.4	4.5	3.9
BA3	Brown-yellow-green patina on the abdomen	<0.5	<1.5	36.3	0.5	5.3	13.5	5.7	4.0
BA4	Green patina on the abdomen	3.5	<1.5	35.5	0.3	3.6	5.9	4.9	4.6
BA5	Black patina on the abdomen	6.3	<1.5	34.1	0.6	5.3	9.6	1.8	3.5
BA6	Brown-yellow-green patina on the abdomen	1.9	1.7	37.0	0.7	5.4	9.0	5.6	4.6
BA7	Black patina on the abdomen	3.6	1.5	40.0	0.8	6.0	12.3	1.6	3.1
BAR1	Black patina on the right arm	7.8	2.9	18.9	0.5	5.9	47.3	3.7	4.2
BAR2	Green patina on the right arm	<0.5	<1.5	48.5	0.3	4.2	11.1	<1.0	3.9
BL1	Black patina on the left leg	9.6	2.3	27.0	<0.2	1.6	13.0	1.4	3.0
BL2	Yellow-green patina on the left leg	2.9	1.9	33.9	0.2	3.8	6.1	5.8	3.3
BL3	Green patina on the left leg	2.5	10.3	12.4	0.2	4.4	17.4	3.1	2.6
BL4	Green patina on the left leg	1.0	8.4	15.7	0.2	2.0	14.7	3.4	2.4
BL5	Green patina on the left leg	5.1	11.5	12.3	<0.2	1.3	19.4	<1.0	2.0
BL6	Whitish patina on the left leg	0.7	2.1	30.5	<0.2	5.1	2.5	9.7	4.2
BFO1	Black patina on the left foot	8.6	1.8	25.8	<0.2	1.6	15.6	1.5	2.8

Table 3: Bronze B

	SALDATURE								
File	descrizione	S	Cl	Sn	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
SBBD1	Bronzo B, braccio dx, tassello	3,9	2,2	9,0	<0,2	2,1	73,0	3,0	6,5
SBBD2	Bronzo B, braccio dx, saldatura sopra tassello	0,9	2,5	18,9	0,4	3,6	63,1	<1,0	6,4
SBBD3	Bronzo B, braccio dx, saldatura	2,4	2,5	29,3	0,5	4,4	48,1	2,4	9,5
SBBD4	Bronzo B, braccio dx, saldatura	<0,5	<1,5	27,2	0,8	7,3	44,7	2,0	6,7
SBBD5	Bronzo B, braccio dx aggiunto color bronzo	5,8	2,6	14,8	<0,2	1,7	51,9	5,0	18,0
SBBD6	Bronzo B, braccio dx, spalla color bronzo	<0,5	3,2	22,4	<0,2	1,4	65,2	3,7	3,9
SBBD7	Bronzo B, braccio dx, saldatura	<0,5	<1,5	22,5	0,6	4,4	59,2	3,5	9,6
SABS1	Bronzo A, braccio sx, saldatura	4,4	2,9	38,8	0,3	2,1	50,3	<1,0	<2,0
SABS2	Bronzo A, braccio sx, saldatura	3,2	3,2	33,7	<0,2	1,3	54,4	<1,0	<2,0
SABS3	Bronzo A, braccio sx, sopra saldatura	1,0	2,5	43,7	0,4	3,4	36,9	<1,0	<2,0
SABS4	Bronzo A, braccio sx, sotto saldatura	3,7	2,0	44,3	0,3	3,2	39,3	<1,0	<2,0

The values of **sulphur** concentration are in general higher for Bronze A (< 0.5 – 12.5 % wt) in comparison with Bronze B (< 0.5 – 9.6 % wt) and in five areas of the Bronze A the sulphur concentration is higher than 10 % wt.

The **black patina** always shows prevailing sulphur and copper concentrations, corresponding to the presence of copper sulphides, while the **red thin** superimposed layer is probably recognized as cuprite (Cu_2O), deriving from deposited copper subsequently oxidized.

In general, the **green patina** shows moderate sulphur concentrations.

Chlorine concentration for the two Riace Bronzes is comparable, but it is slightly higher for Bronze A (< 1.5 – 15.7 % wt) in comparison with Bronze B (< 1.5 – 11.5 % wt).

The **green patinas** can be divided in three typologies, with different hues: grey-green, green and brown-yellow-green.

Gray-green patina has an extensive presence and an uniform colour on the Bronze A: it is particularly evident in zones where the black patina was removed, due to the mechanical friction and wearing action of sand and marine sediments against the bronze surface.

The **green** patinas, in some cases with hues light blue or whitish, are usually small and quite common on both Riace Bronzes. The green patinas AC9, AL4 and AB2 show higher concentration of chlorine and copper, indicating a significant accumulation of copper chlorides. The latter are very important chemical compound in corrosion processes of copper alloys. It is now known that there are four polymorph structures of copper trihydroxychloride ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), such as, atacamite, paratacamite, botallackite and clinoatacamite and the nature of the chemical reactions in “*bronze disease*” is well described in literature.

Therefore, the presence of copper chloride must be carefully evaluated in order to perform a correct storage and this requires a periodic control of the surface of the two masterpieces.

The **brown-yellow-green** patinas are present in extended areas on Bronze B, with low concentrations of chlorine (less than 2 % wt) and of copper (9 – 15 % wt), high percentages of tin (36 – 44 % wt) and also significant values of zinc (4 – 6 % wt).

Tin concentration is higher on Bronze B (12.3 – 48.5 % wt) than on Bronze A (< 3.0 – 33.5 % wt).

Bronze B exhibits very high **tin** concentration (34.1 – 43.6 % wt) especially in the zones of the abdomen. In particular, greater tin values are found in the brown-yellow-green areas, in some way sustaining the hypothesis of an intense electrochemical corrosion, but mainly of an artificial chemical surface treatment with consequent enrichment of this alloy component in the oxidized form, stable, of cassiterite (SnO_2). Furthermore, in the marine environment, stable tin compounds are normally recognized, not only as tin dioxide, but also as some stannates (of iron, magnesium and copper).

Even some whitish patinas have high percentage of tin (20 – 30 % wt).

Manganese concentration is very similar between the two Bronzes, in fact, it is equal to $< 0.2 - 1.2$ % wt on Bronze A and to $< 0.2 - 0.8$ % wt on Bronze B.

Iron, present in variable concentration, 1.8 – 10.7 % wt for Bronze A and 1.3 – 6.8 % wt for Bronze B, cannot be certainly ascribed to a particular source. It is possible a deposition from the sea water or a provenance from some compound and/or treatment applied during restoration.

Copper concentration is higher on Bronze A (23.4 – 81.7 % wt) in comparison to Bronze B (2.5 – 64.2 % wt).

The thin brown patina is characterized by high levels of copper in both sculptures.

Very high values of copper were measured for red patina that hides the black one, probably constituted by cuprous oxide (cuprite). On the other hand, the concentration of copper decreases in the green patina.

Zinc concentration is lower on the surface of Bronze A ($< 1.0 - 4.3$ % wt), almost always less than 1 % wt, while it is greater, and it is present in a diffuse manner, on patinas of Bronze B ($< 1.0 - 9.7$ % wt). In particular, this occurs in green-yellow-brown patinas (approximately 4 – 6 % wt), but especially in whitish patinas, in which zinc concentration reaches a maximum value equal to 9.7 % wt.

The unnatural appearance of these areas suggests an external contribution of zinc, in fact, the Art Bulletin reports that the alloy has very low content of it (table 1). Therefore, zinc concentration in the patinas of Bronze B is not imputable to marine sediments, but it is attributable to residues coming from brass brushes employed during the mechanical cleaning procedure in Florence in 1975-1980.

Lead is present on the surface of both sculptures in lower-middle concentrations and it is slightly higher on Bronze B (2.0 – 4.6 % wt) compared to Bronze A ($< 2.0 - 3.8$ % wt): it is obviously derived from the electrochemical corrosion of the alloys.

LA FLUORESCENZA A RAGGI X IN DISPERSIONE DI ENERGIA (EDXRF) PER LO STUDIO DELLA TELA “*SAN FELICE IN TRONO*” DI LORENZO LOTTO

**Francesco ADDUCI^a, Alessandro BUCCOLIERI^b,
Giovanni BUCCOLIERI^b, Alfredo CASTELLANO^b,
Roberto CESAREO^c, Fabrizio VONA^d**

^a *Università di Bari, Dipartimento di Fisica, via Orabona 4, 70125, Bari*

^b *Università del Salento, Dipartimento di Scienza dei Materiali, via Monteroni, 73100, Lecce*

^c *Università di Sassari, Dipartimento di Matematica e Fisica, via Vienna 2, 7100, Sassari*

^d *Soprintendenza P.S.A.E. per le Province di Bari e Foggia, via Pier l'Eremita 25-B, 70122, Bari*



“San Felice in Trono”

Lorenzo Lotto (1542)

Tela su tavola (cm. 139 x 57)

Chiesa di San Domenico a Giovinazzo (BA)

Italia



Madonna Assunta e i santi Antonio abate e Ludovico da Tolosa (Pala di Asolo)
Olio su tavola, cm 175 x 162
Asolo, duomo
1506



Madonna con il Bambino e santi (Pala Martinengo)
Olio su tavola, cm 520 x 250
Bergamo, San Bartolomeo
1513-1516



Ritratto di Lucina Brembati
Olio su tavola, cm 52,6 x 44,8
Bergamo, Accademia Carrara
1518 circa



Madonna con il Bambino e santi (Pala di Santo Spirito)
Olio su tela, cm 287 x 268
Bergamo, Santo Spirito
1521



Madonna con il Bambino e santi (Pala di San Bernardino)
Olio su tela, cm 287 x 268
Bergamo, San Bernardino in Pignolo
1521



Nozze mistiche di santa Caterina
Olio su tela, cm 189,3 x 134,3
Bergamo, Accademia Carrara
1523



Trinità
Olio su tela, cm 170 x 115
Bergamo, Sant'Alessandro della Croce
1524 circa



Sacra Famiglia con santa Caterina d'Alessandria
Olio su tela, cm 81,5 x 115,3
Bergamo, Accademia Carrara
1533



Adorazione dei pastori
Olio su tela, cm 147 x 166
Brescia, Pinacoteca Civica Tosio Martinengo
1534 circa



Madonna con il Bambino e santi (Madonna del Rosario)
Olio su tela, cm 384 x 264
Cingoli, Pinacoteca Civica
1539

Italia



Susanna e i vecchioni
Olio su tavola, cm 66 x 51
Firenze, Galleria degli Uffizi
1517



Deposizione nel sepolcro
Olio su tavola, cm 298 x 197
Jesi, Pinacoteca Civica
1512



Pala di San Francesco al Monte
Olio su tavola, cm 85 x 160 e 155 x 160
Jesi, Pinacoteca Civica
1526



Santa Lucia davanti al giudice
Olio su tavola, cm 243 x 237
Jesi, Pinacoteca Civica
1532



Presentazione di Gesù al tempio
Olio su tela, cm 172 x 136,5
Loreto, Delegazione Pontificia per il Santuario della Santa Casa
1552-1556



Ritratto di giovanetto
Olio su tavola, cm 34,5 x 27,5
Milano, Museo d'Arte Antica del Castello Sforzesco, Pinacoteca
1526 circa



Ritratto di Febo da Brescia
Olio su tela, cm 82 x 78
Milano, Pinacoteca di Brera
1543-1544



Ritratto di Laura da Pola
Olio su tela, cm 90 x 75
Milano, Pinacoteca di Brera
1543-1544



Pietà
Olio su tela, cm 185 x 150
Milano, Pinacoteca di Brera
1545



Crocefissione
Olio su tela, cm 425,5 x 248
Monte San Giusto, Santa Maria in Telusiano
1533-1534

Italia



Madonna con il Bambino e san Pietro martire
Olio su tavola, cm 55 x 88
Napoli, Museo e Gallerie Nazionali di Capodimonte
1503



Ritratto di Bernardo de' Rossi
Olio su tavola,
cm 54,7 x 41,3
Napoli, Museo e Gallerie Nazionali di Capodimonte
1505



Polittico dei santi Vincenzo e Alessandro
Olio su tavola
Ponteranica, Santi Vincenzo e Alessandro
1525 (?)



Polittico di Recanati
Olio su tavola
Recanati, Pinacoteca Civica
1506-1508



Annunciazione
Olio su tela, cm 166 x 114
Recanati, Pinacoteca Civica
1534 circa



Madonna con il Bambino, un santo vescovo e sant'Onofrio
Olio su tavola, cm 53 x 67
Roma, Galleria Borghese
1508



San Gerolamo
Olio su tavola, cm 80,5 x 61
Roma, Museo Nazionale di Castel Sant'Angelo
1509 circa



Madonna con Gesù Bambino e santi (Nozze mistiche di santa Caterina)
Olio su tela, cm 98 x 115
Roma, Galleria Nazionale d'Arte Antica
1524



Ritratto di gentiluomo (Autoritratto?)
Olio su tela, cm 118 x 105
Roma, Galleria Borghese
1535 circa



Cristo Vite e Storie di santa Barbara
Affresco, cm 356 x 812
Trescore Balneario, Oratorio Suardi, parete nord
1524

Italia



Pala di Santa Cristina
Olio su tavola, cm 90 x 179 e 177 x 162
Santa Cristina di Quinto di Treviso, chiesa parrocchiale
1504-1506



San Nicola in gloria con san Giovanni Battista e santa Lucia
Olio su tela, cm 335 x 188
Venezia, Santa Maria dei Carmini
1527-1529



Ritratto di giovane gentiluomo nello studio
Olio su tela, cm 98 x 111
Venezia, Gallerie dell'Accademia
1530 circa



Elemosina di sant'Antonino
Olio su tela cm 332 x 235
Venezia, Santi Giovanni e Paolo
1540-1542

Austria



Ritratto di giovane con lucerna
Olio su tavola,
cm 42,3 x 35,3
Vienna, Kunsthistorisches Museum
1506 circa



Ritratto di gentiluomo con zampino di leone
Olio su tela, 95,5 x 69,5
Vienna, Kunsthistorisches Museum
1527 circa



Madonna con il Bambino e i santi Caterina d'Alessandria e Tommaso
Olio su tela, cm 113,5 x 152
Vienna, Kunsthistorisches Museum
1528 circa



Triplice ritratto di orefice
Olio su tela, cm 52,1 x 79,1
Vienna, Kunsthistorisches Museum
1530 circa

Francia



San Gerolamo
Olio su tavola, cm 48 x 40
Parigi, Musée du Louvre
1506



Cristo portacroce
Olio su tela, cm 66 x 60
Parigi, Musée du Louvre
1526

Francia		<i>Sacra Famiglia con angeli e santi</i> Olio su tela, cm 150 x 237 Parigi, Musée du Louvre 1536 circa
Germania		<i>Commiato di Cristo dalla Madre</i> Olio su tela, cm 126 x 99 Berlino, Staatliche Museen zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz, Gemäldegalerie 1521
Gran Bretagna		<i>Madonna con il Bambino e i santi Gerolamo, Pietro, Chiara e Francesco</i> Olio su tavola, cm 82 x 105 Edimburgo, National Gallery of Scotland 1505 circa
		<i>Ritratto di Giovanni Agostino della Torre con il figlio Niccolò</i> Olio su tela, cm 85 x 68,2 Londra, National Gallery 1515
		<i>Ritratto di gentildonna in veste di Lucrezia</i> Olio su tela, cm 95,9 x 110,5 Londra, National Gallery 1533 circa
		<i>Ritratto di Andrea Odoni</i> Olio su tela, cm 104 x 116,6 Windsor Castle, Royal Collections 1527
Russia		<i>Ritratto di coniugi</i> Olio su tela, cm 96 x 116 San Pietroburgo, The State Hermitage Museum 1524 circa

....e il “San Felice in Trono”?

Spagna		<i>Ritratto di Marsilio Cassotti e della sua sposa Faustina</i> Olio su tavola, cm 71 x 84 Madrid, Museo Nacional del Prado 1523
USA		<i>Allegoria della Virtù e del Vizio</i> Olio su tavola, cm 56,5 x 42,2 Washington, National Gallery of Art 1505
		<i>Allegoria della Castità (Sogno di fanciulla)</i> Olio su tavola, 42,9 x 33,7 Washington, National Gallery of Art 1506 circa

- Il dipinto fu ritrovato da Bernard Berenson, che lo rese noto nella sua monografia dedicata a Lorenzo Lotto, edita a Londra nel 1905. Lo studioso ebbe modo di usufruire di alcuni documenti scoperti e pubblicati alcuni anni prima da P. Giannuzzi (1894), il quale aveva scoperto l'esistenza di un contratto intercorso tra il pittore veneto e un mercante barlettano di nome Alouise Catelan. Il mercante commissiona, infatti, al pittore un trittico destinato ad ornare la Cattedrale di Giovinazzo, da consegnarsi entro la fine dell'anno 1542.

- L'artista ricorda la commissione nel suo ***Libro dei Conti***, vero e proprio giornale di bordo del pittore, ricchissimo di notizie sulla sua attività e sui suoi rapporti con la committenza. Lotto parlando del dipinto lo menziona, appunto, come destinato a “*li homeni di Iuvenazo*”. Il *San Felice* risulta essere l'unico scomparto di un polittico, scampato ad un terribile incendio che interessò la cattedrale giovinazzese, sede vescovile nel secolo XVI. Dal luogo originario l'opera finì, seguendo una storia a noi ignota, nell'attuale chiesa settecentesca dedicata a San Domenico, a Giovinazzo, dove fu rinvenuta tra mille insignificanze, da Berenson, sul finire del diciannovesimo secolo.

- Nell'edizione italiana, della sua monografia (1955), lo storico dell'arte inglese, così racconta l'emozione della scoperta: “*Trovandomi in Puglia nell'Aprile 1897, mi fermai a Giovinazzo per vedere cosa era accaduto di quel trittico e, dopo varie peripezie, trovai il solo pannello col San Felice fra gli oggetti di sbratto ammassati dietro l'altare maggiore (Tela cm. 139 x 57). Era allora in condizioni pietose: oggi ripulito mostra la caratteristica tipologia lottesca*”.

- Il trittico iniziale affiancava al San Felice, un Sant'Antonio da Padova e un San Nicola da Tolentino, ed era sormontato da una cimasa raffigurante il tradizionale “cristo pietoso”.

•Il dipinto si inserisce dunque in quel traffico (per la verità ad unico senso) di opere d'arte che a partire dalla fine del Trecento e che fino a tutto il Cinquecento, interessa il Veneto e le sponde della Puglia. Traffico che comprendeva, come ormai i vari e fitti studi sul settore hanno dimostrato, oltre al ben noto e nutrito numero di dipinti, anche sculture e opere di arte sontuaria.

•Nell'opera, Lorenzo Lotto allinea la figura del santo vegliardo seduto su di un alto trono, incassando la figura in uno spazio assai modesto, facendola quindi giganteggiare all'interno della composizione; quasi che l'artista avesse inteso sovrapporre e identificare – non senza una punta d'ironia – spazio illusorio del quadro e spazio materiale della tela. La cromia del dipinto è nutrita di quel particolarissimo impasto di tonalità ricche ma sommesse, caratteristiche proprio dell'ultima fase dell'artista.

•Il santo vescovo brandisce con la destra un pastorale di cristallo terminante in ricciolo d'oro, che corrisponde ad una tipologia consueta durante il Rinascimento. La figura regge con la mano sinistra la Bibbia, segnandone con l'anulare una pagina, utilizzando cioè il dito a mo' di segnalibro.

•Sul ricco piviale sono riconoscibili tra le figure ricamate lungo il bordo, due santi: **San Sebastiano** e **San Rocco**, rispettivamente sulla sinistra e sulla destra dello spettatore, che concludono in basso le decorazioni del piviale. Si tratta di due santi molto ricorrenti e legati, la cui iconografia è legata, per tradizione devozionale alle pestilenze e alle epidemie.

La loro presenza potrebbe far ipotizzare perciò anche un significato votivo del dipinto, legandolo, pertanto ad una particolare grazia ricevuta dal committente, oppure ad un più esteso e funesto evento in terra di Giovinazzo.

- La tela è stata restaurata, per la prima volta in data antecedente il 1919 come indicato da Adolfo Venturi, ma si ignorano i trattamenti eseguiti.
- L'unico restauro documentato risale al 1951 ad opera dell' *Istituto Centrale del Restauro*, Roma.

“Alcuni sollevamenti di colore e numerosi ritocchi Alterazioni delle vernici rimesse. La lacca del suppedaneo risultava, prima della fissatura, solubile in acqua”
Ministero della Pubblica Istruzione, Bollettino ICR, 1951

La tela è stata analizzata mediante Fluorescenza a Raggi X in Dispersione di Energia (EDXRF) al fine di:

- identificare i principali pigmenti utilizzati dal Lotto (rosso, verde, blu, bianco e giallo);
- determinare zone di precedenti restauri.

Strumentazione utilizzata



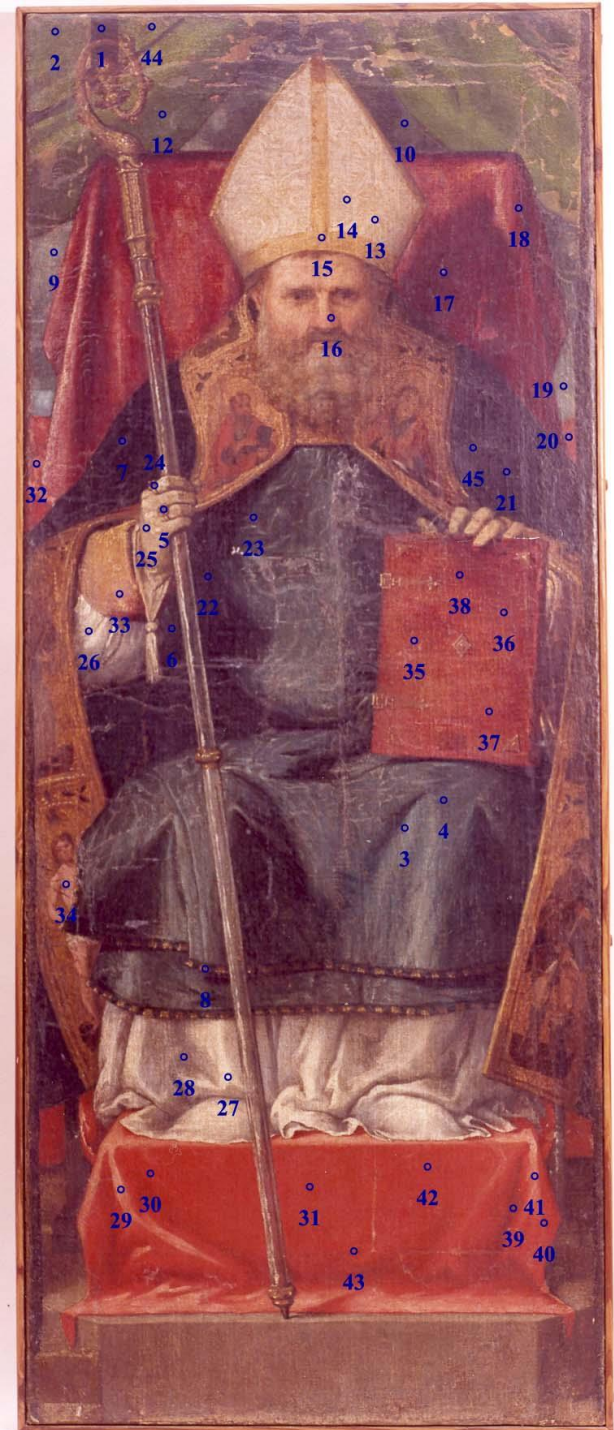
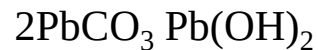
- Tubo a raggi X prodotto dalla OXFORD Instrument, con anodo di tungsteno operante a 30 kV e 5 μ A
- Rivelatore Si-PIN (mod. XR100T) prodotto dalla AMPTEK, raffreddato termoelettricamente, avente una finestra di Be da 25 μ m, con risoluzione di 190 eV at 5.9 keV
- Scheda multicanale prodotta dalla AMPTEK

PUNTI DI MISURA

Pigmenti analizzati

- rossi
- verdi
- blu
- bianchi
- gialli

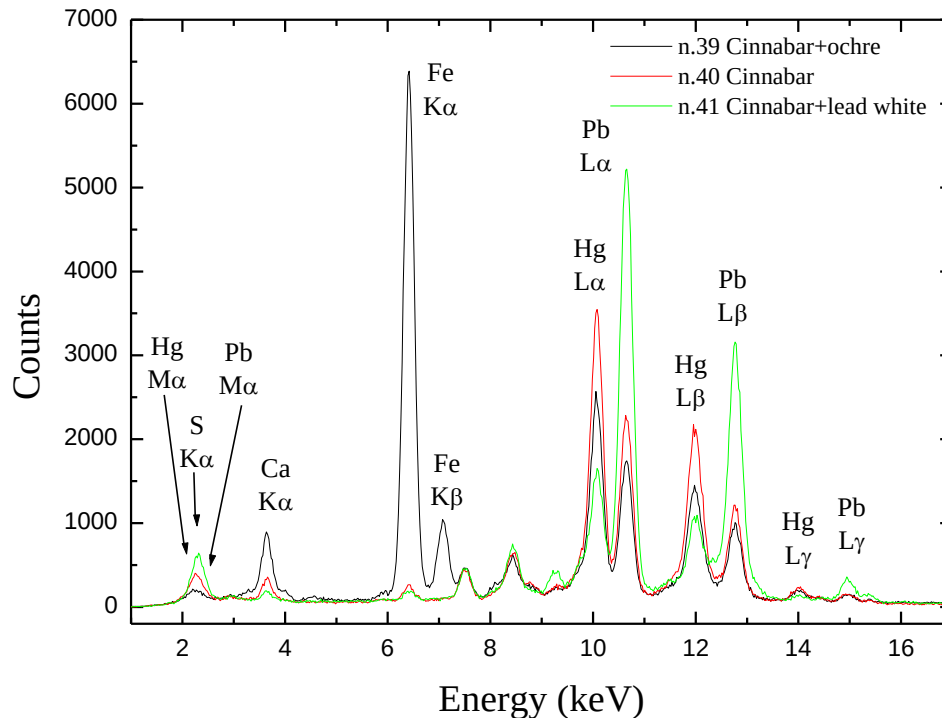
La presenza di piombo in tutti i pigmenti ha permesso di poter supporre una imprimitura dell'intera tela in bianco di biacca



Pigmenti ROSSI

Sono stati individuati tre differenti rossi:

- Rosso costituito da Hg e S (cinabro): punti del suppedaneo (30, 31, 40, 42 e 43) e punti 32 e 20
- Rosso di Pb (minio): regioni 17 e 18
- Rosso contenente Fe, Hg e S (miscela di cinabro ed ocre rossa): zone 35 e 38



È interessante il confronto tra il rosso scuro della zona 39, il rosso della zona 40 ed il rosso chiaro della zona 41.

•Zona 39

Presenza Fe, Hg ed S: miscela ocre rossa e cinabro

•Zona 40

Presenza di Hg e Pb: Cinabro

•Zona 41

Presenza di Pb, Hg: rosso chiaro ottenuto mescolando cinabro e biacca

Pigmenti VERDI

Le zone di colore verde (2, 12, 19 e 44) sono caratterizzati principalmente dalla presenza di Cu: si tratta quindi probabilmente di malachite

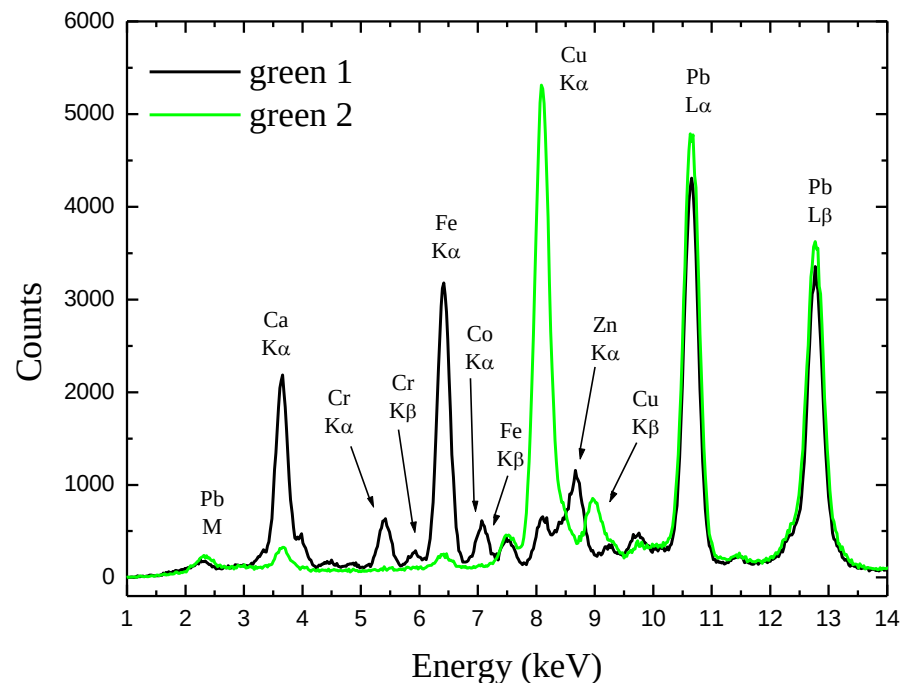


Verde 1

Presenza di Fe (terra verde)

Tracce di Cr, Zn e Co: probabile presenza di ossido di cromo (Cr_2O_3) e verde di cobalto (CoO o ZnO). Questi pigmenti, usati dal XIX secolo, confermano un intervento di restauro precedente al 1919.

La zona 1 manifesta un verde più scuro rispetto ai restanti: si tratta di una regione non trattata nel restauro dell'ICR del 1951 e perciò può conservare informazioni circa precedenti interventi.

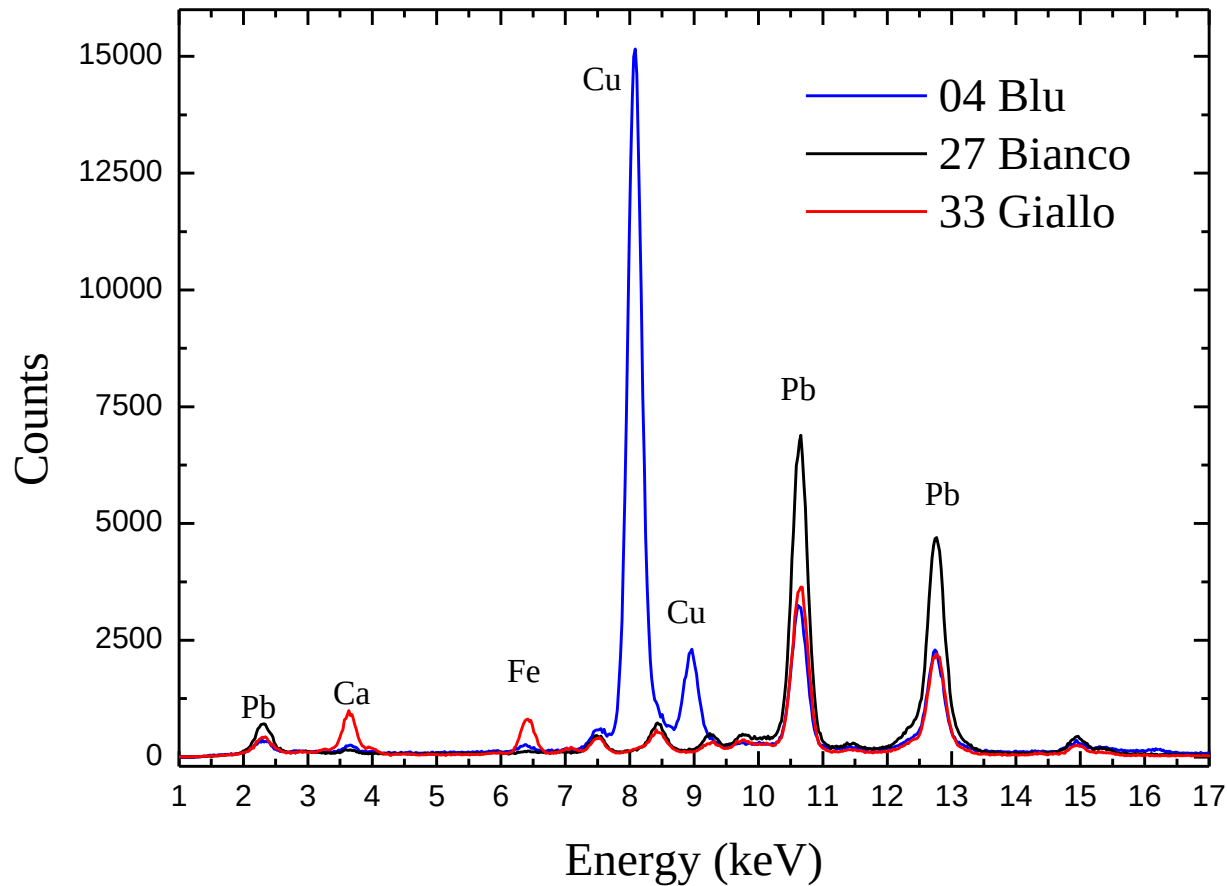


ALTRI PIGMENTI

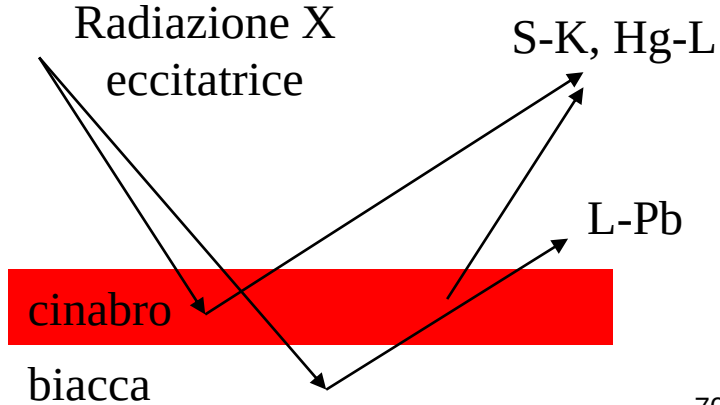
Pigmenti Blu: sono costituiti principalmente da Cu (azzurrite)

Pigmenti Bianchi: presenza di Pb (biacca)

Pigmenti Gialli: manifestano la presenza di Fe (ocra gialla)

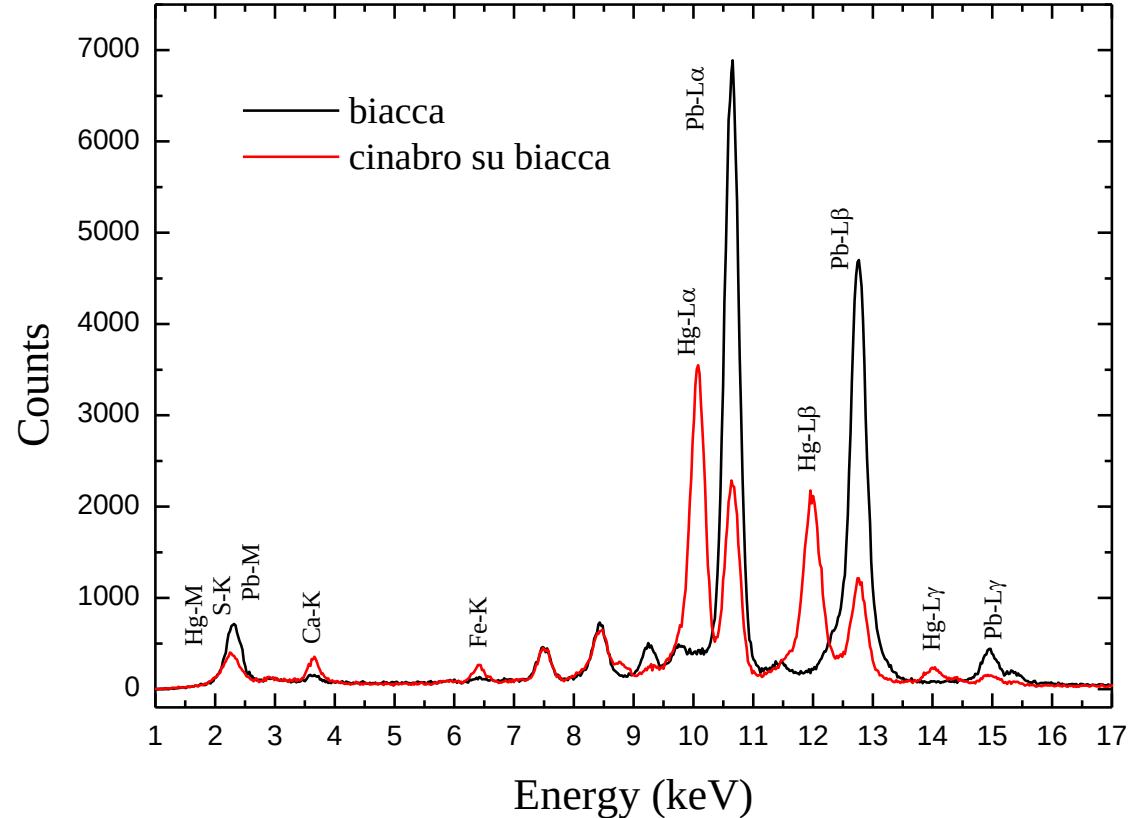


STRATIGRAFIA DEI PIGMENTI



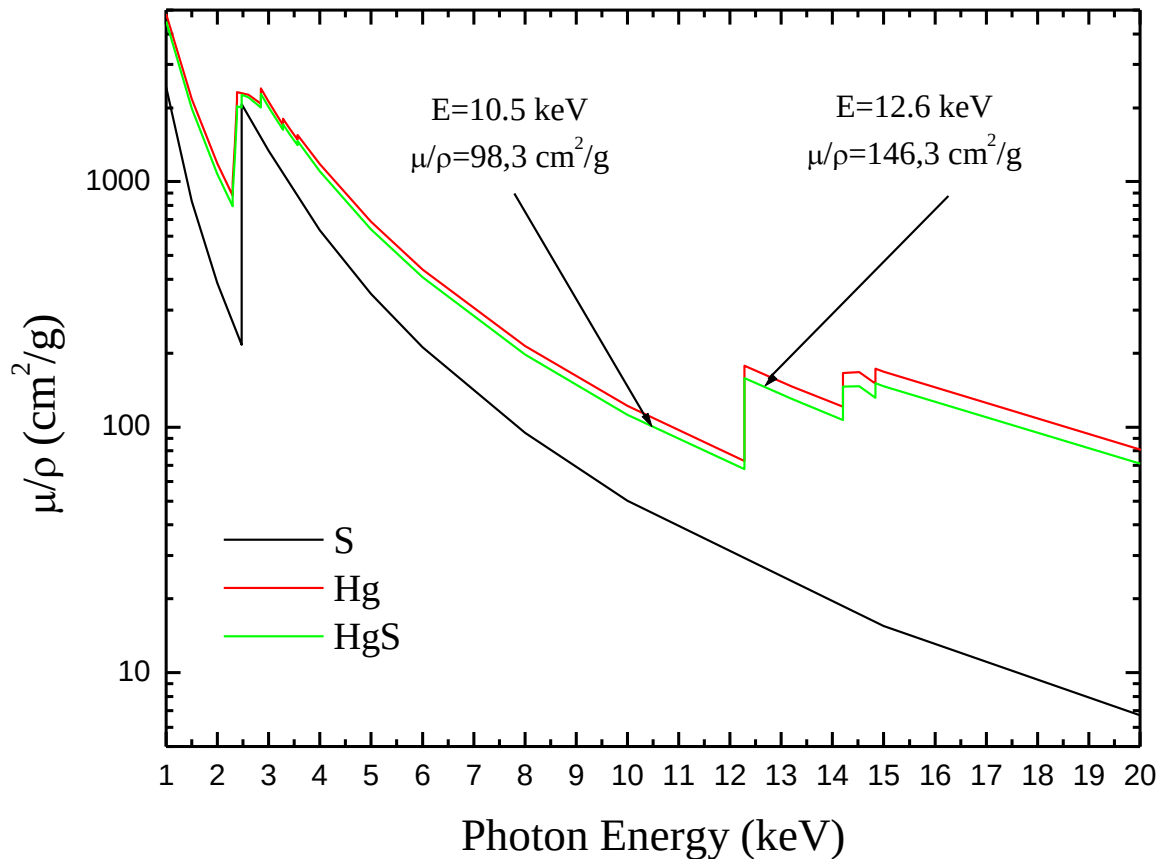
In presenza di cinabro su biacca (imprimitura) è possibile studiare la stratigrafia dei pigmenti.

Le radiazioni Pb-L sono assorbite, in maniera differente, dallo strato di cinabro sovrastante



Lo spessore del cinabro può essere valutato determinando il rapporto tra le linee Pb-L $_{\alpha}$ e Pb-L $_{\beta}$, che sono differientemente assorbite dal cinabro.

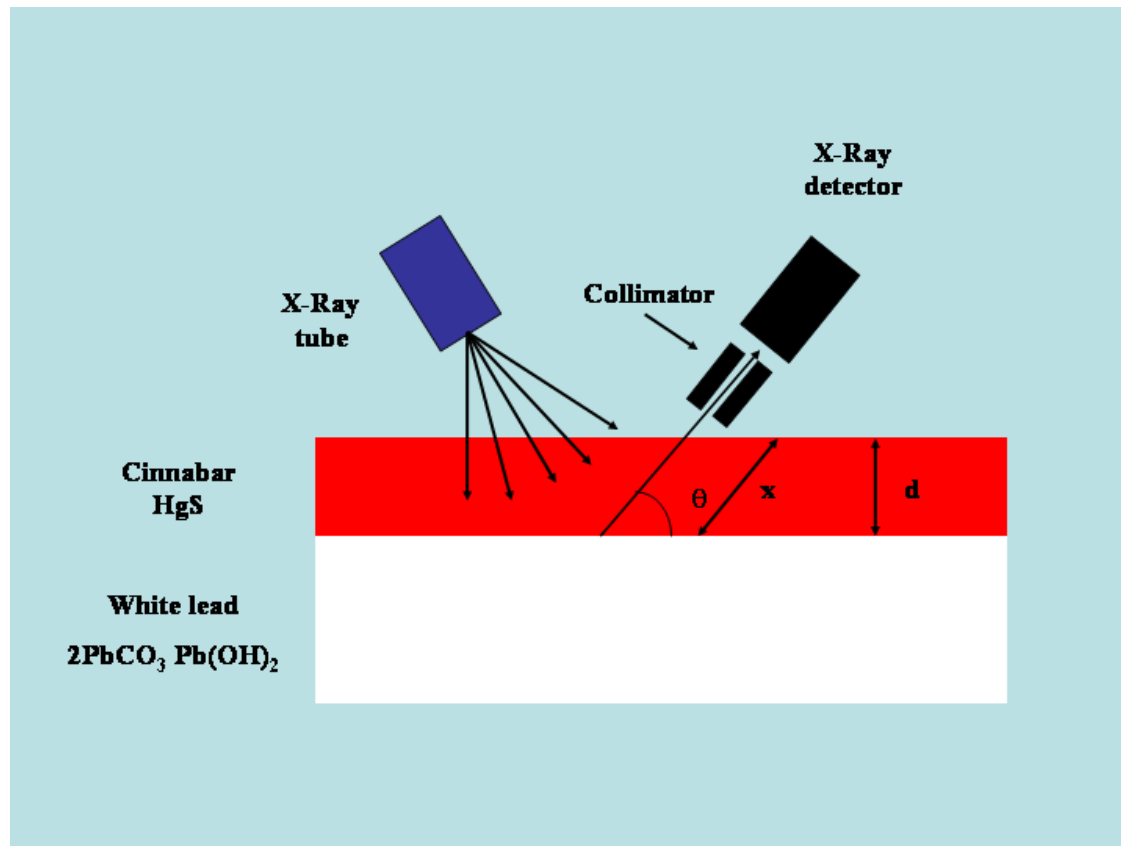
La radiazione Pb-L $_{\beta}$ (12.6 keV) è molto più assorbita della radiazione Pb-L $_{\alpha}$ (10.5 keV) poiché i rispettivi coefficienti di assorbimento di massa sono $\mu_{\beta}=146.3 \text{ cm}^2/\text{g}$ and $\mu_{\alpha}=98.3 \text{ cm}^2/\text{g}$.



$$I_{\text{Ei}} = (I_{\text{Ei}})_0 e^{-\frac{\mu_{\text{Ei}}}{\rho} \rho x}$$

x: percorso in g/cm^2 della radiazione Pb-L_α ($E_1=10.5 \text{ keV}$) and Pb-L_β ($E_2=12.6 \text{ keV}$) nel cinabro
 I_0 e **I** : intensità della radiazione rispettivamente prima e dopo lo strato di cinabro.
d: spessore “equivalente” di cinabro

Il rapporto $(I_{E1})_0/(I_{E2})_0$ è stata valutata analizzando un campione di biacca puro.



$$I_{E1} = (I_{E1})_0 e^{-\mu_{E1}x}, \quad I_{E2} = (I_{E2})_0 e^{-\mu_{E2}x}$$

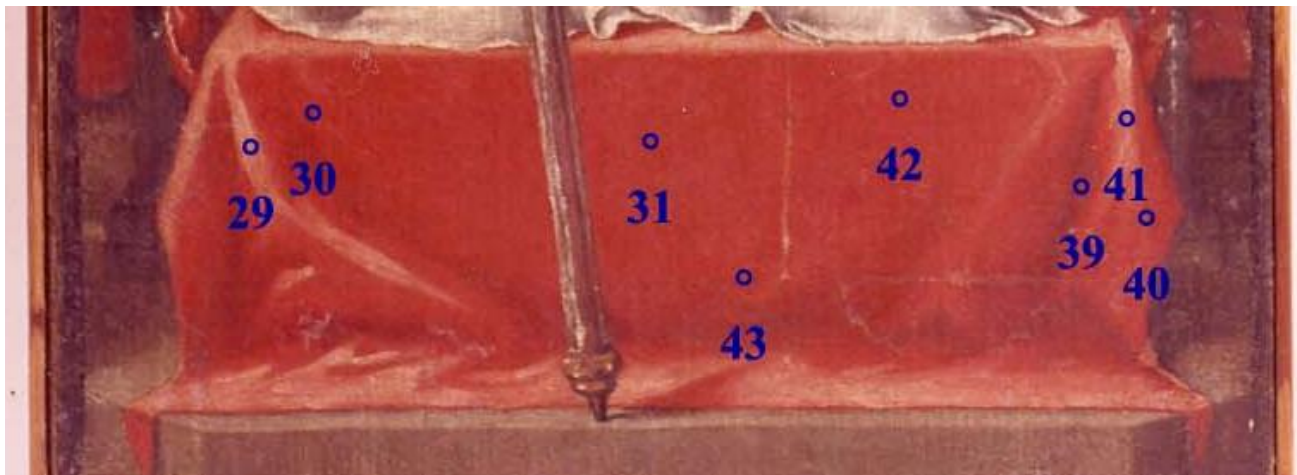
$$\frac{I_{E1}}{I_{E2}} = \frac{(I_{E1})_0}{(I_{E2})_0} e^{-(\mu_{E1}-\mu_{E2})x}$$

$$x = \frac{1}{\mu_{E1} - \mu_{E2}} \ln \frac{\frac{(I_{E1})_0}{(I_{E2})_0}}{\frac{I_{E1}}{I_{E2}}}$$

$$d = x \sin \theta$$

**“Spessori equivalenti”
di cinabro**

Zona	Spessore (μm)
20	3.8 ± 0.5
30	6.8 ± 1.1
31	8.3 ± 0.5
32	6.0 ± 1.0
39	5.0 ± 0.8
40	5.7 ± 0.4
42	7.6 ± 1.0
43	7.9 ± 1.7



CONCLUSIONI

Le misure, in maniera assolutamente non distruttiva e eseguite *in situ*, hanno permesso:

- sia di identificare i principali pigmenti pittorici usati dall'artista che svelare alcuni dettagli della tecnica pittorica (imprimitura, mescolanza dei pigmenti, ecc.);
- di accertare interventi di restauro non documentati;
- di valutare la stratigrafia dei pigmenti.