

# Quando la scienza incontra i Beni Culturali

**Il caso del *Salvator Mundi* :  
un Leonardo ritrovato**

# Cosa si intende per bene culturale?

“I beni di interesse archeologico, storico, artistico, ambientale e paesaggistico, archivistico e librario ed ogni altro bene che costituisca testimonianza materiale avente valore di civiltà”



# Perché studiare un Bene Culturale?



# Conoscenza

- Che cos'è?
- Di che epoca è?
- Come è stato prodotto?

I materiali

La tecnica artistica

La tecnologia costruttiva



- Perché?

Oggetto di vita quotidiana o significato simbolico rituale

- Qual è il suo stato di salute?
  - Rotte commerciali, influenze
  - Identificazione dei falsi

# Restauro

Pulitura

Consolidamento

Ripristino cromatico

Compatibilità chimico-fisica

Ripristino della leggibilità

Riconoscibilità dei interventi di restauro



# Conservazione

Garantire la stabilità statica e meccanica

Rimozione/prevenzione delle alterazioni

Riparo da agenti degradanti:

chimici, biologici, antropici, atmosferici

Monitoraggio ambientale:

temperatura, umidità, atmosfera



# Fruizione

Accessibilità  
(per il pubblico, per la ricerca)

Visibilità  
(musei, collezioni, esposizioni)



Documentazione

Rintracciabilità  
(archivi, database, siti web)

# Chi fa tutto questo?

- ✓ Archeologi
- ✓ Storici dell'arte
- ✓ Conservatori
- ✓ Restauratori
- ✓ Chimici
- ✓ Fisici
- ✓ Biologi
- ✓ Geologi



## Conservation Scientist



# Le tecniche pittoriche

## Affresco



## Pittura a tempera



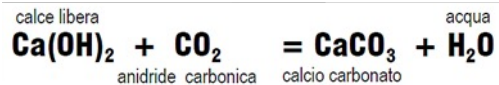
## Pittura ad olio



## Dipinti su tavola



## Dipinti su tela



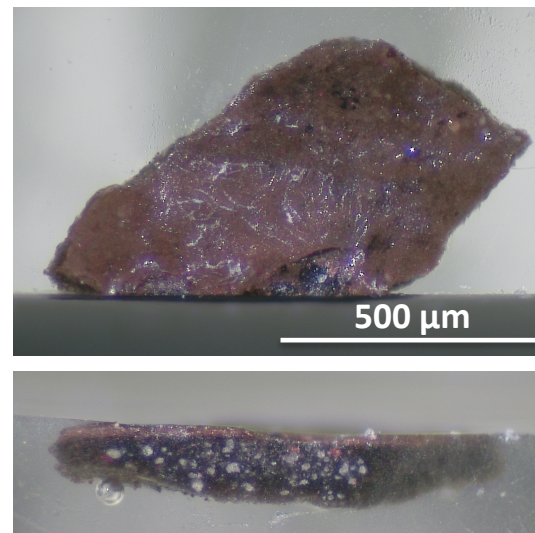
Reazione di carbonatazione



## Parola d'ordine: RIDURRE L'INVASIVITÀ!!!!

### Tecniche di Imaging non invasive:

- ✓ Luce visibile
- ✓ Riflettografia IR
- ✓ Fluorescenza UV
- ✓ Radiografia ai raggi X

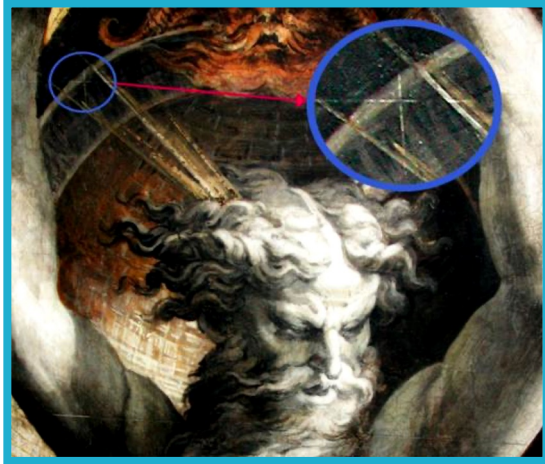


### Tecniche spettroscopiche non – invasive o micro-distruttive

- ✓ Spettroscopia Infrarossa a Trasformata di Fourier (FTIR)
- ✓ Spettroscopia Raman
- ✓ Spettroscopia di fluorescenza ai raggi X (XRF)
- ✓ Spettroscopia di diffrazione ai raggi X (XRD)
- ✓ Microscopia elettronica a scansione con microanalisi (SEM-EDX)

# Tecniche di Imaging non invasive:

## Fotografia ad angolo radente:



Incisione diretta di una griglia per l'allargamento del disegno.

Crettatura anomala dell'intonaco.  
Bordo di una *giornata*.



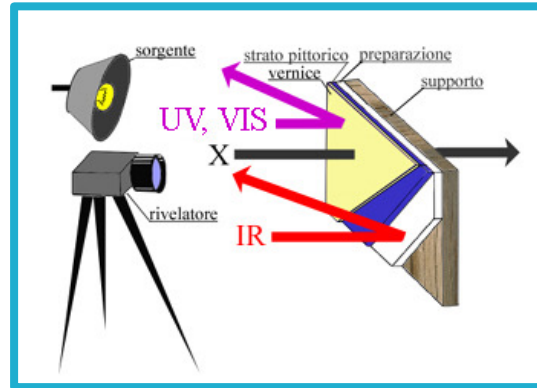
Trasposizione del disegno tramite incisione indiretta.

Trasposizione del disegno tramite spolvero.



# Tecniche riflettografiche

- Riflettografia IR
- Riflettografia UV-VIS



La luce di diverse lunghezze d'onda ha diverso potere di penetrazione attraverso gli strati pittorici e viene assorbita e riflessa in maniera diversa dai vari materiali.

Talvolta è possibile riconoscere i disegni preparatori sottostanti...



o vedere «pentimenti» e riutilizzi delle tele

## Riflettografia Infrarossa (IRR)

Sostanze che in luce visibile avrebbero un aspetto simile, possono risultare molto diverse nell'IR o nell'UV.

Le aree “**rosa**” del cielo corrispondono alla presenza di **smaltino** (vetro a base di potassio e cobalto).

Le zona **viola** scuro corrispondono alla presenza di **azzurrite**  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ .

## Immagine IR a falsi colori (IRC)

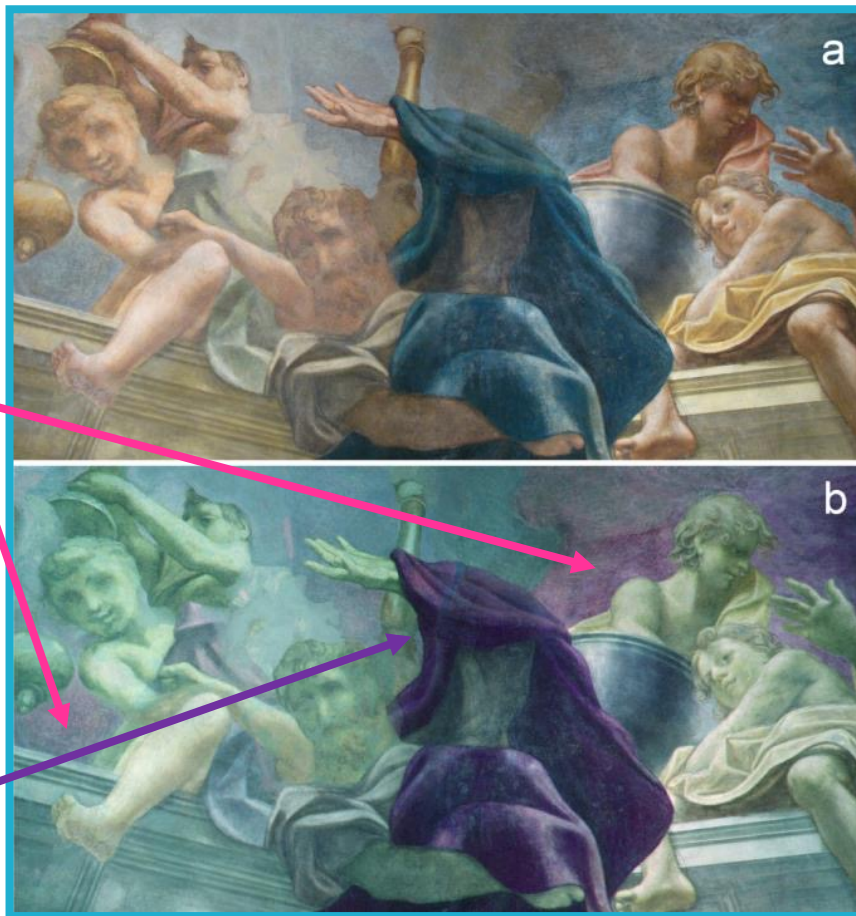
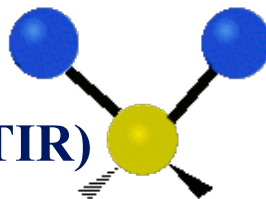


Immagine in luce visibile

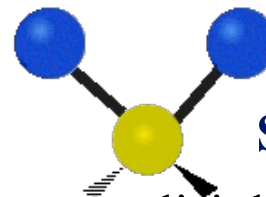
Immagine IR a falsi colori

Anche i ritocchi recenti possono essere riconosciuti.

## Spettroscopia Infrarossa a Trasformata di Fourier (FTIR)

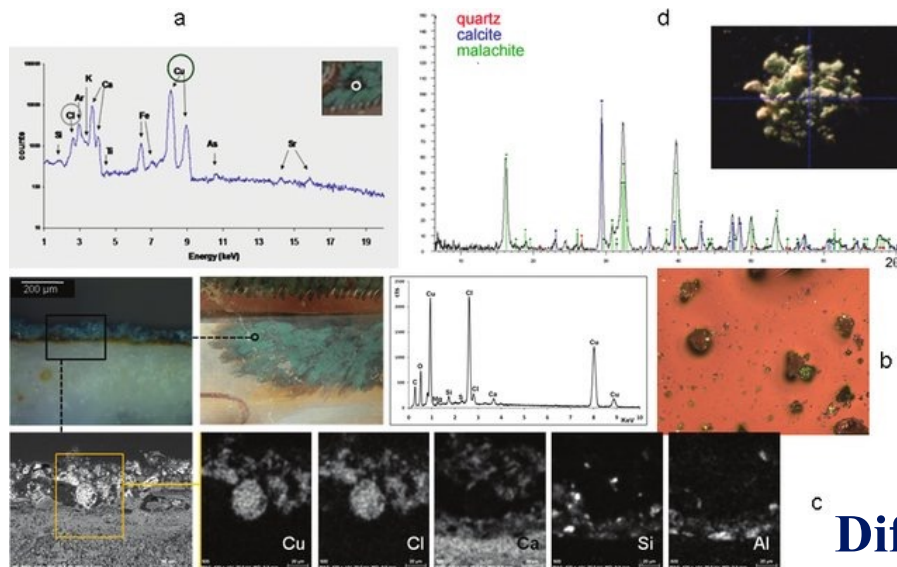


## Spettroscopia Raman



Utilizzate come tecniche preliminari per analisi di leganti e pigmenti

- lipidici
- proteici
- polisaccaridici
- terpenici

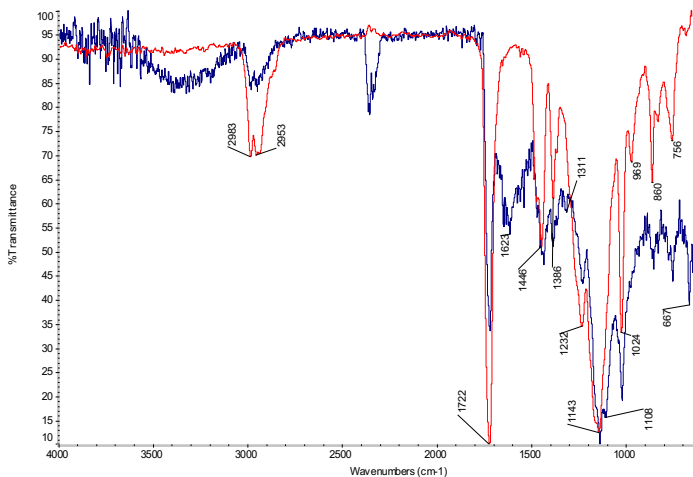


## Fluorescenza ai raggi X (XRF)

## Diffrazione ai raggi X (XRD)

## Microscopia elettronica a scansione con microanalisi (SEM-EDX)

## Spettro FTIR del Paraloid B72



Resina acrilica utilizzata  
come consolidante

## Giallo di cromo

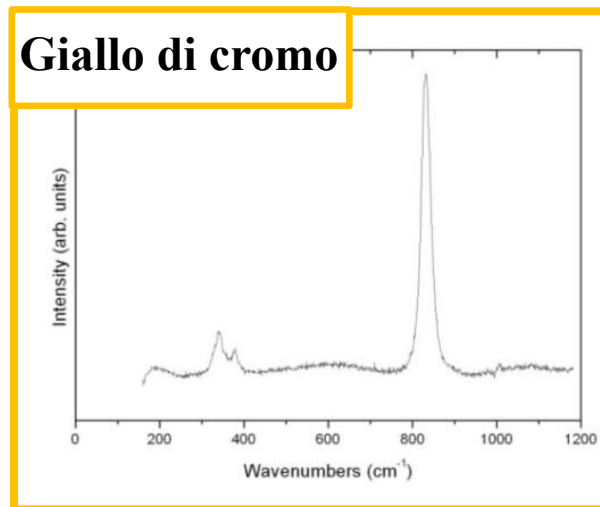


Table 7. Yellow inorganic pigments.

Pigment	Chemical name	Formula	Date
Barium yellow	barium chromate	BaCrO <sub>4</sub>	early 19th c.
Cadmium yellow	cadmium sulfide	CdS	mineral (greenockite) + synthetic ca 1845
<b>Chrome yellow</b>	<b>lead(II) chromate</b>	<b>PbCrO<sub>4</sub> or PbCrO<sub>4</sub>·2 PbSO<sub>4</sub></b>	<b>1809</b>
Cobalt yellow (aureolin)	potassium cobaltinitrite	K <sub>3</sub> [Co(NO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> ]	1861
Lead antimonate yellow	lead(II) antimonate	Pb <sub>3</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1500 BC
Lead tin yellow	lead(II) stannate	[I] Pb <sub>2</sub> SnO <sub>4</sub> [II] PbSn <sub>0.75</sub> Si <sub>0.24</sub> O <sub>3</sub>	antiquity? antiquity?
Massicot	lead(II) oxide	PbO	antiquity
Yellow ochre	goethite + clay + silica	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O + clay + silica	mineral (and synthetic)
Orpiment	arsenic(III) sulfide	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	mineral
Pararealgar	arsenic(II) sulfide	As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	ca 1220 <sup>a</sup>
Strontium yellow	strontium chromate	SrCrO <sub>4</sub>	early 19th c.
Zinc yellow	zinc chromate	ZrCrO <sub>4</sub>	early 19th c.

<sup>a</sup> Known to be formed by photochemical degradation of realgar. Not recognised to be a mineral until 1980. Roberts A.C., Ansell H.G., Bonardi M., Can. Mineral. 18 (1980) 525.

## *Salvator Mundi* \_ 1499-1510

Si è a lungo pensato che fosse una copia eseguita da un allievo di Leonardo

### **2008**

Comincia il restauro. I restauratori cominciano a sospettare che si tratti di un Leonardo originale.

Comincia una dettagliata campagna di studio sia dal punto di vista stilistico e storico-artistico, che dal punto di vista scientifico, per identificare i materiali costitutivi.

Molti influenti storici dell'arte lo ritengono un lavoro originale di Leonardo, altri credono che Leonardo vi abbia contribuito solo in parte.



### **2011 – 2012**

Il quadro viene inserito in una mostra su Leonardo organizzata dalla National gallery di Londra, come autentico.

### **2017**

Viene venduto all'asta da Christie's ad un principe arabo per 450.3 milioni di dollari.

### **Ad oggi**

Detiene il record per il prezzo più alto mai pagato per l'acquisto di un quadro.



# Le repliche



School of Leonardo da Vinci, *Salvator Mundi* (c. 1503), private collection



Follower of Leonardo da Vinci, *Salvator Mundi* (1508–1513), Museum of San Domenico Maggiore, Naples



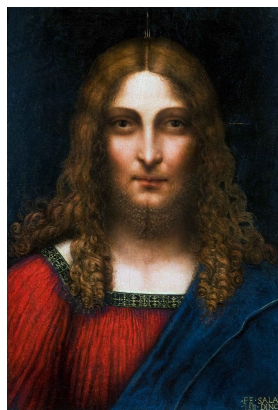
Giampietrino, *Salvator Mundi* (16th century), Detroit Institute of Arts.



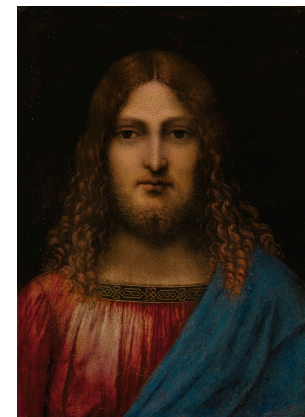
Cesare da Sesto, *Salvator Mundi* (1516–1517), Wilanów Palace, Warsaw



Lombard follower of Leonardo da Vinci (possibly Marco d'Oggiono), *Salvator Mundi* (16th century), private collection



Salaì, *Head of Christ the Redeemer* (1511), Pinacoteca Ambrosiana, Milan.



Milanese follower of Leonardo da Vinci, *Bust of Christ* (c. 1511–1513) private collection

<https://salvatormundirevisited.com/Introduction>



**Prima del restauro**



**Durante il restauro**

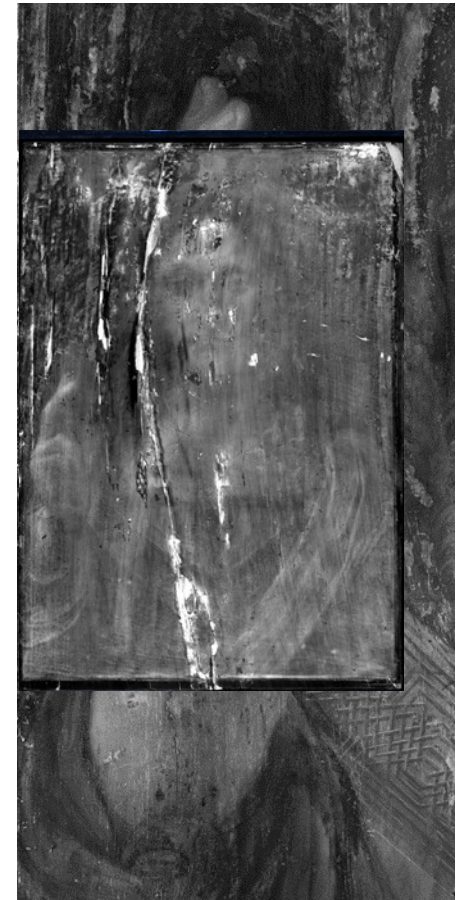
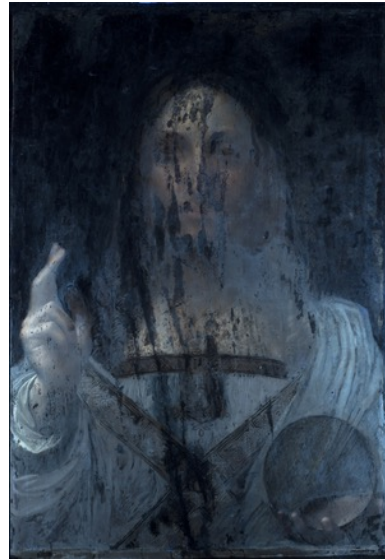


**A restauro ultimato**

Gutman Rieppi *et al.*, *Salvator Mundi: an investigation of the painting's materials and techniques*, *Heritage Science* (2020) 8:39 <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00382-3>

## Fotografia all'ultravioletto (UV)

- La vernice protettiva mostra una fluorescenza giallo-verde.
- L'olio siccativo usato per stendere i pigmenti e alcuni pigmenti stessi (bianco di piombo e la lacca rossa), mostrano una leggera fluorescenza.
- Le aree di ritocco non mostrano fluorescenza e risultano scure.



Prima del restauro

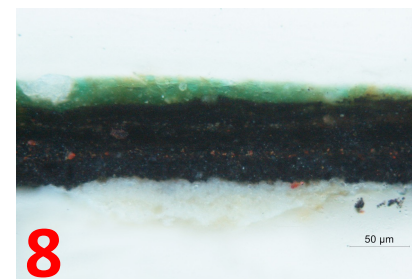
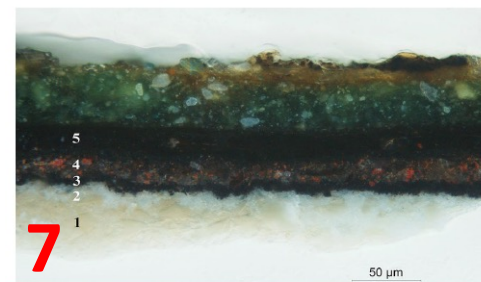
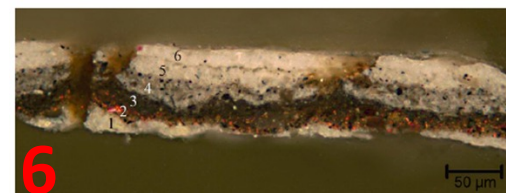
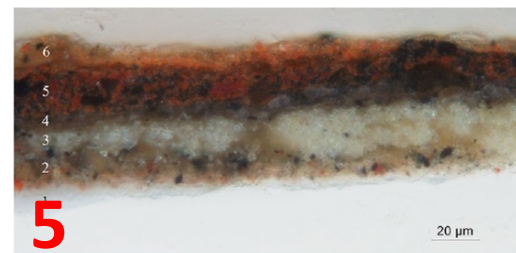
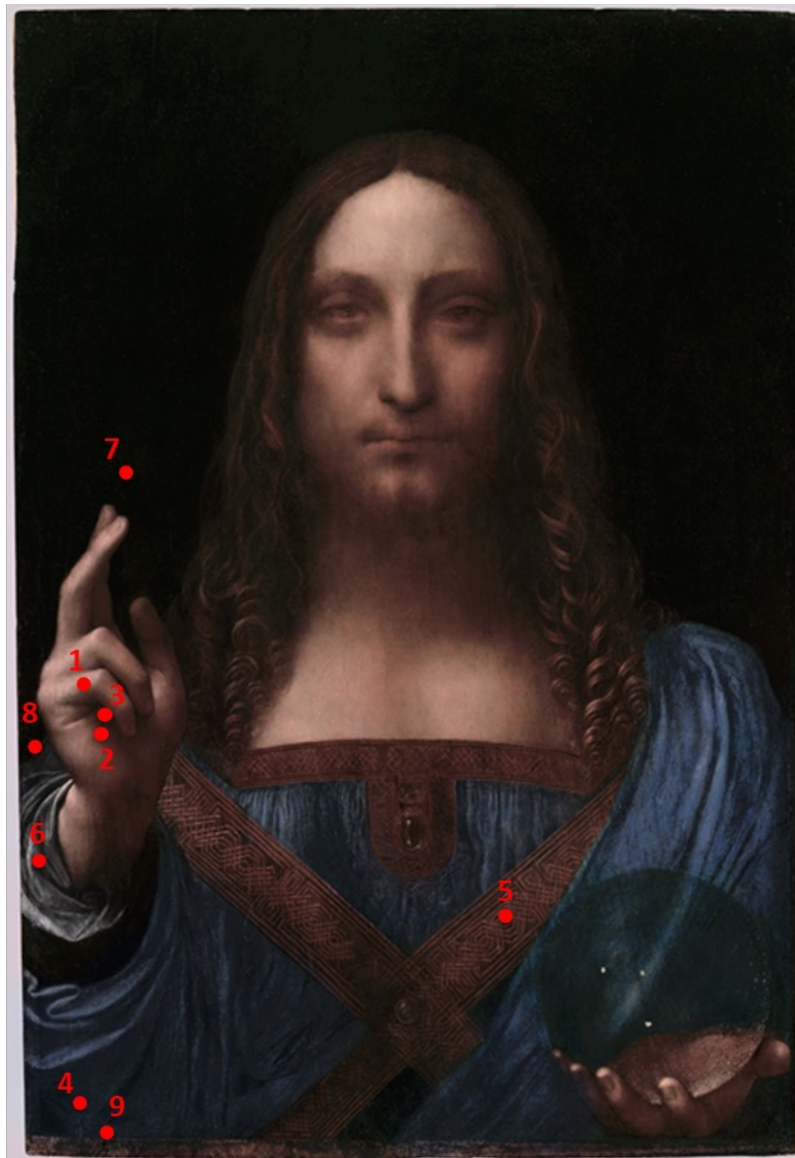
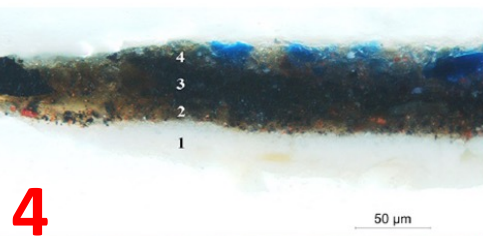
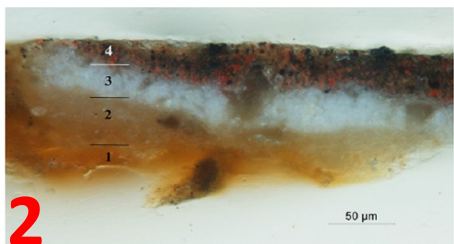
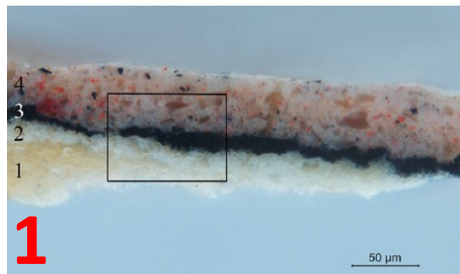
## Riflettografia all'infrarosso

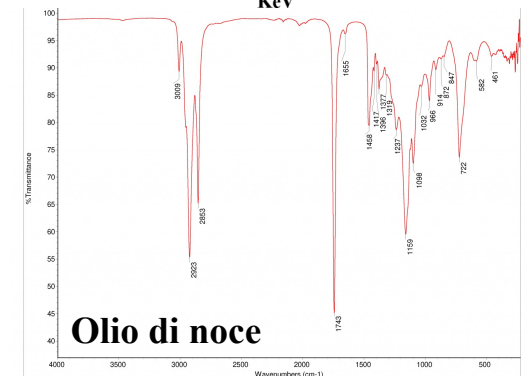
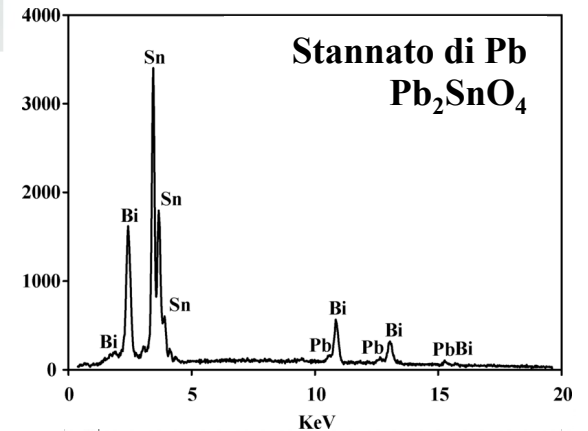
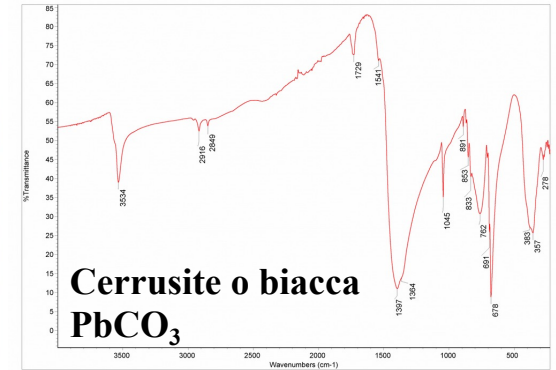
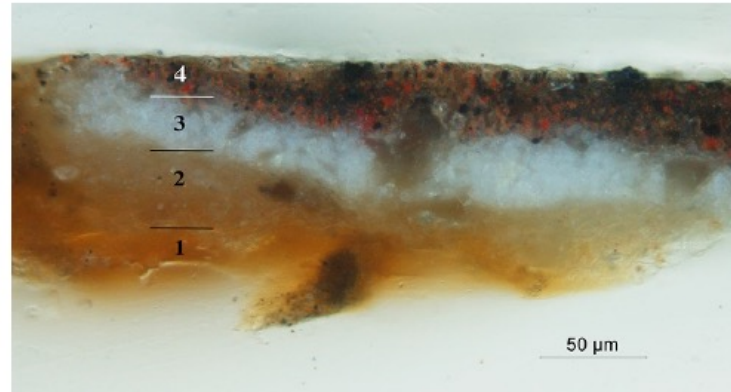
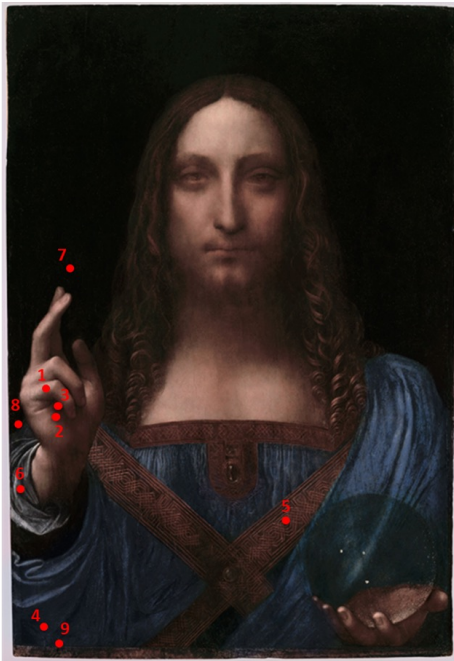
Molto utile per riconoscere la presenza di disegni preparatori e pentimenti in particolare se il disegno è stato eseguito con nero carbone, un pigmento che assorbe la radiazione infrarossa.

## Radiografia digitale ai raggi X

I raggi X sono in grado di attraversare tutto il materiale, compreso il supporto pittorico e vengono assorbiti da materiali contenenti metalli pesanti come il Piombo. In questo caso possiamo osservare la distribuzione dello strato preparatorio ma anche come pigmento.

# Il campionamento



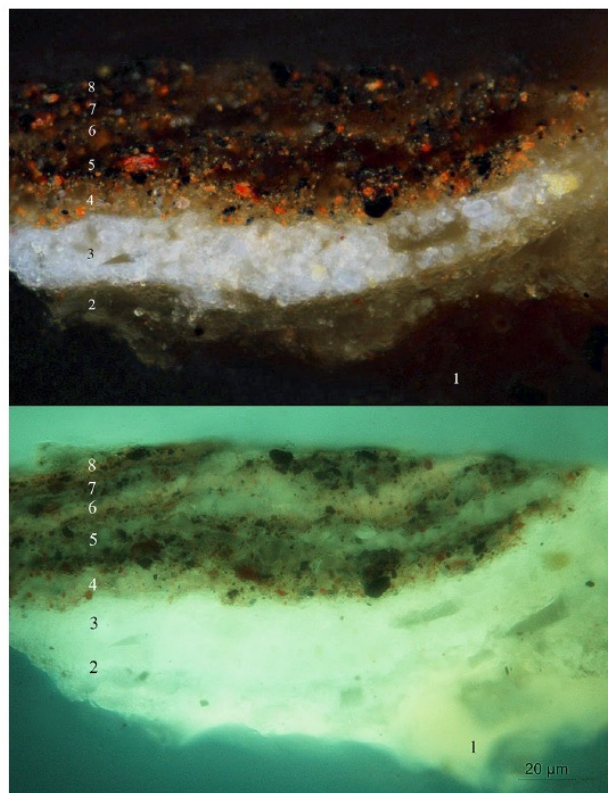
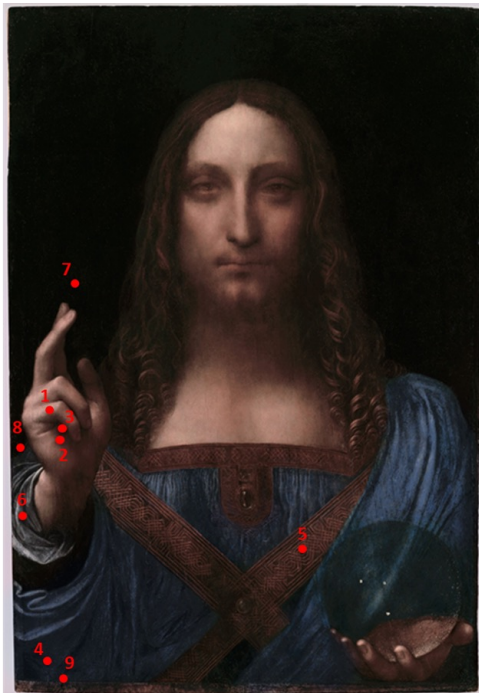


- 4. → Starto marrone → Cinabro + nero carbone
- 3. → imprimitura → stessa composizione (minore % di stannato), ma con particelle più fini
- 2. → strato preparatorio → Bianco di piombo + giallo di piombo e stagno + particelle di vetro grossolane + olio di noce.
- 1. → possibile stesura di colla animale per preparare il legno

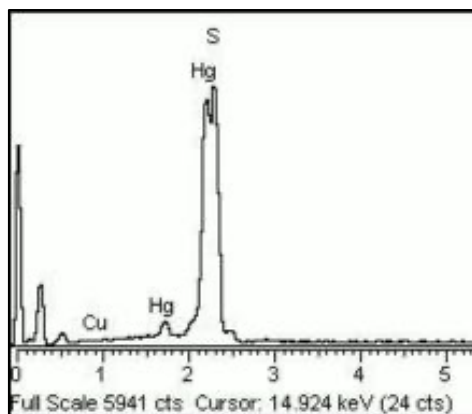
## *Imprimitura tipica della pittura rinascimentale*

Particelle di vetro → accelerare l'asciugatura o aumentare la translucenza

## Campione 3 – piega delle dita



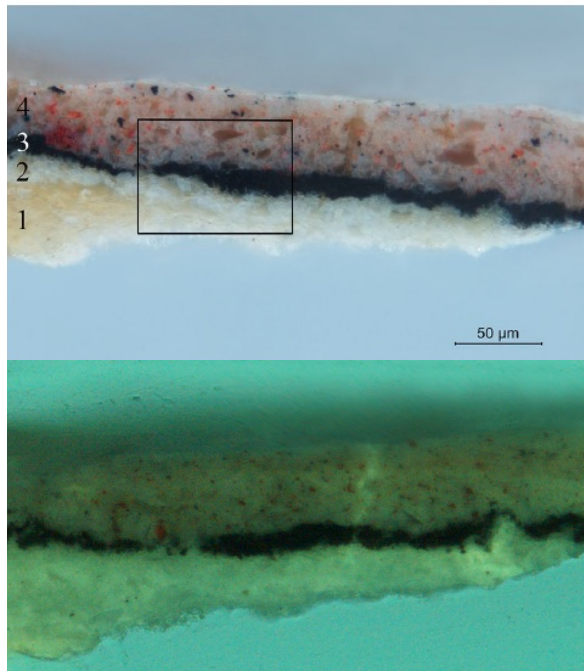
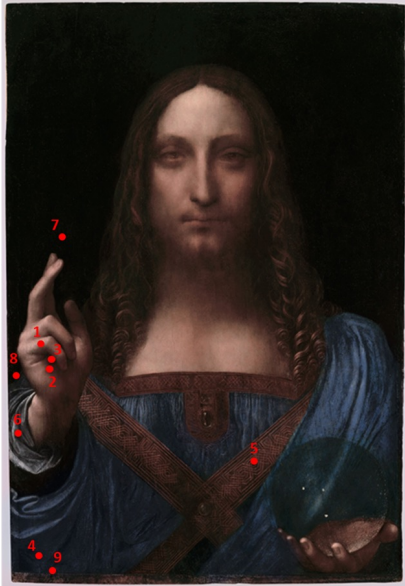
**Cinabro → HgS**



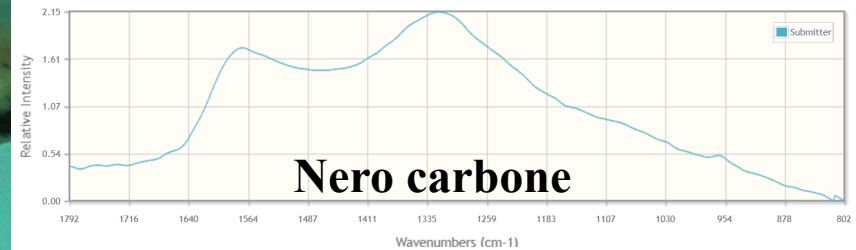
**Cinabro o vermiglione**  
**Solfuro di mercurio → HgS**

- 5.-8. → serie di strati con percentuali diverse di cinabro e nero carbone
- 4. → Strato marrone → cinabro e nero carbone
- 3. → imprimitura
- 2. → strato preparatorio
- 1. → Colla animale

## Campione 1 → incarnato dito



4. → sottile strato nero → RAMAN  
 → nero carbone, SEM EDX → nero  
 d'ossa
3. → imprimitura
2. → strato preparatorio
1. → stesura di colla animale



**Nero carbone**

**+ nero d'ossa**

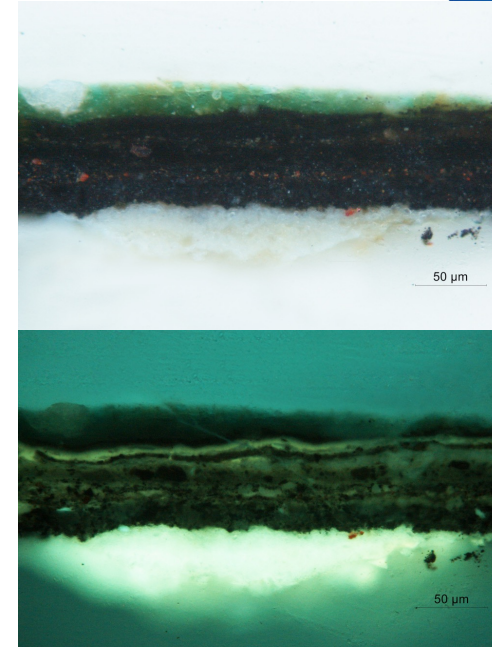
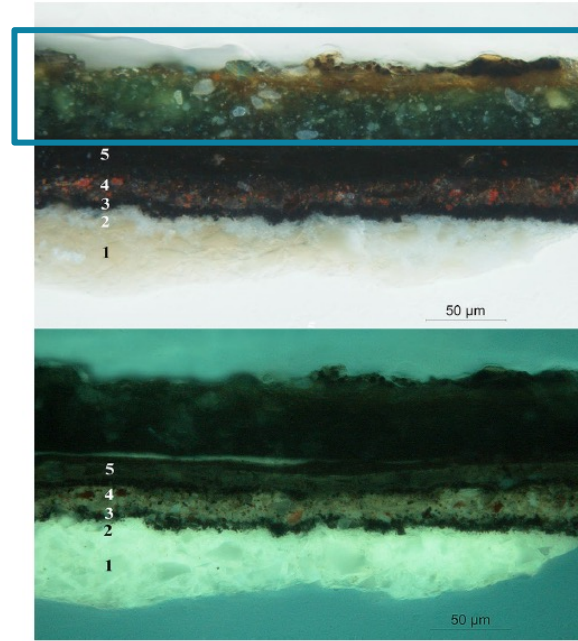
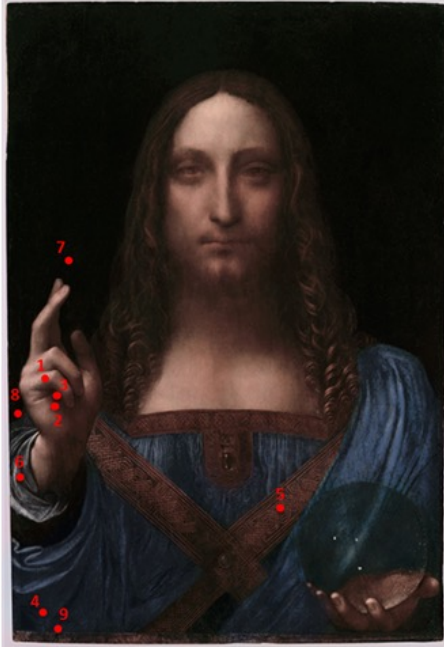
**→ idrossiapatite →  $\text{Ca}(\text{PO})_4(\text{OH})$**

7. → 2-3 strati sottili (4-5 micron) → Stessi pigmenti

6. → strato rosa più chiaro → stessi pigmenti, diverse proporzioni, particelle di vetro più piccole

5. → strato rosa intenso → bianco di Pb + nero d'ossa + grosse particelle di cinabro





Verdigris → Acetato di rame  
 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$

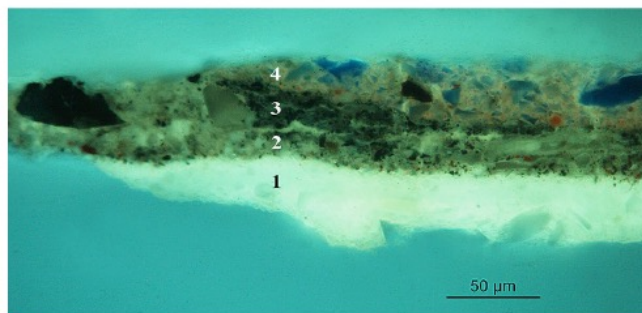
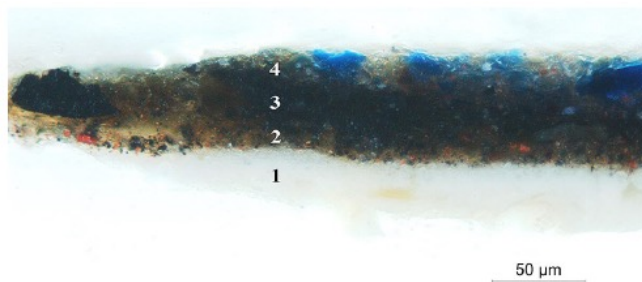
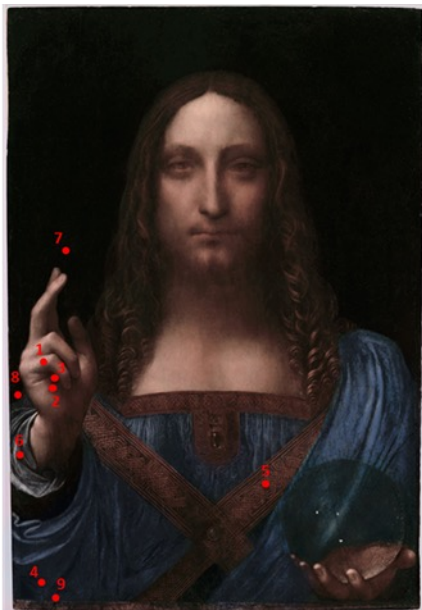


- 9. → strato nero
- 8. → strato giallo → probabilmente residui di vernice
- 7. → strato verde → verdigris + particelle disperse di pigmento giallo e bianco
- 6. → Strato di legante organico

- 5. → almeno 3 strati di nero carbone di cui quello centrale contenente anche nero d'ossa
- 4. → strato rosso-marrone → cinabro + nero carbone
- 3. → strato di nero carbone con particelle molto piccole → abbozzo
- 2. → imprimitura
- 1. → strato preparatorio



## Campione 4



5. → strato blu → Lapis lazuli + particelle di quarzo (+ particelle di lacca rossa + ossido di ferro)

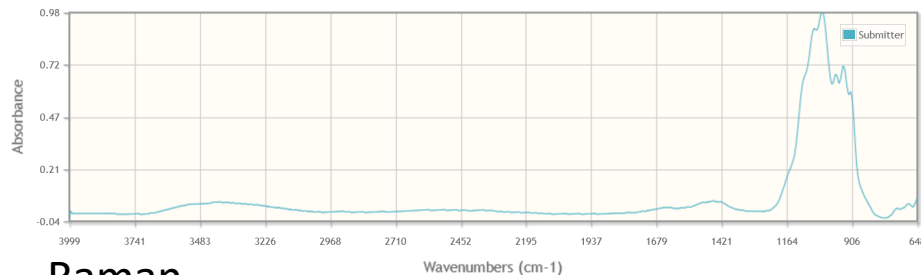
4. → sottilissimo strato di nero fumo (particelle di pigmento molto piccole)

3. → strato marrone → nero carbone, vermiglione e particelle di vetro

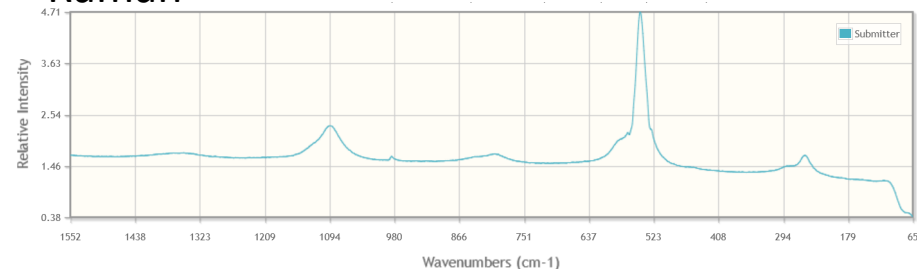
2. → imprimatura

1. → strato preparatorio

## Infrarosso



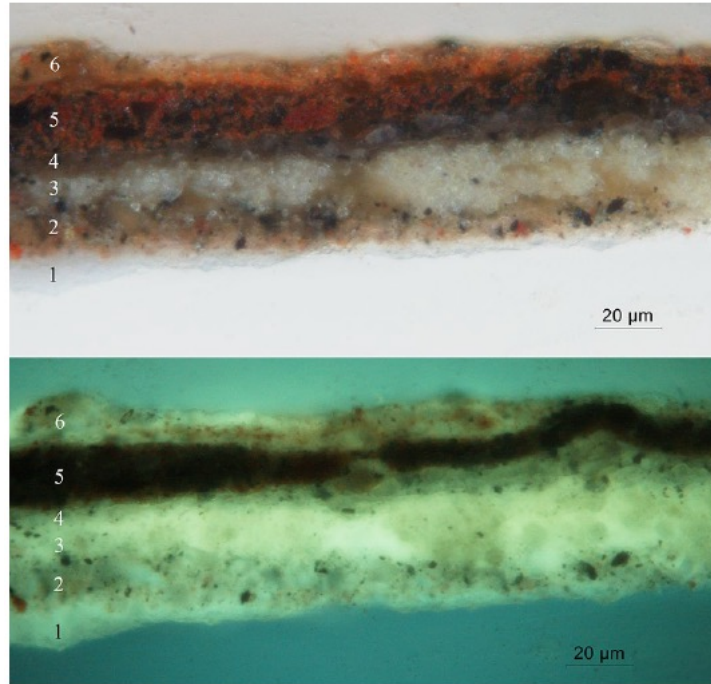
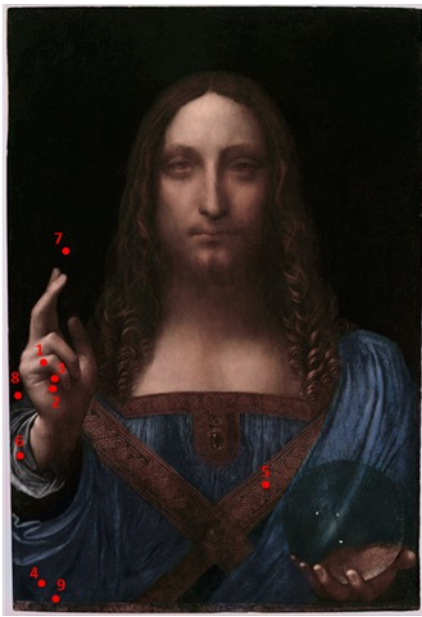
## Raman



Lapis lazuli → Lazurite  
 $(\text{Na,Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{S,SO}_4,\text{Cl})_{1-2}$



## Campione 5 – Decorazione abito



6. → strato rosso-arancio
5. → strato rosso-marrone molto intenso → alta % di cinabro
4. → strato di grigio
3. → strato di giallo di Pb e Sn disperso in olio
2. → strato grigio caldo → bianco di Pb+ cinabro +nero carbone
1. → imprimitura



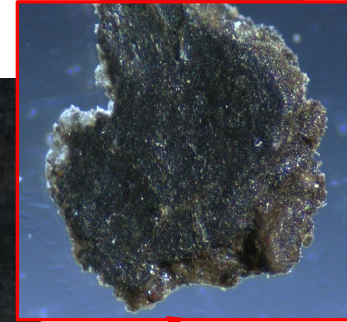
## È davvero un Leonardo originale ???

- Utilizzo dello stannato di piombo nello strato preparatorio e nell'umprimitura;
- Utilizzo di particelle di vetro in dimensioni e percentuali variabili per aumentare la translucenza dei pigmenti;
- Utilizzo di pochi pigmenti ma miscelati con maestria per creare sfumature diverse;
- La sovrapposizione di molti sottilissimi e successive strati di colore per esantare il gioco di luci ed ombre e aumentare la naturalezza dell'incarnato;
- L' assenza di tracce di pennellate ha permesso di ottenere una superficie incredibilmente liscia e raffinata.

# San Girolamo penitente (?)

CERIC

Collezione privata, autore ignoto  
Presunta attribuzione: **Francesco Fracanzano**  
Monopoli, 1612 – Napoli, 1656



MT = marrone teschio

3

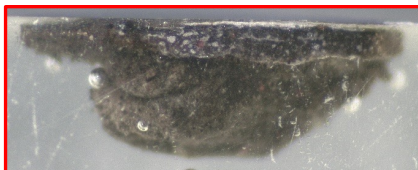
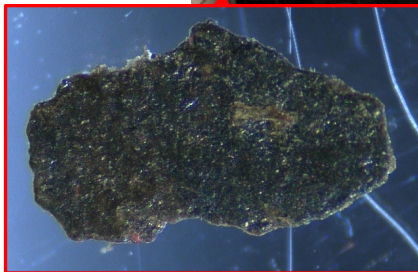
4

2

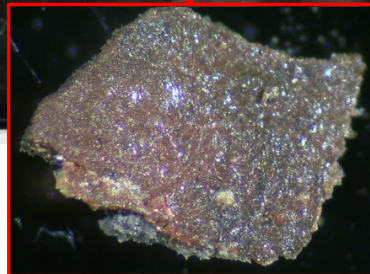
1

5

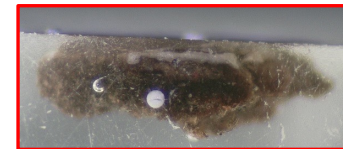
NC = Nero sfondo  
(cappuccio)



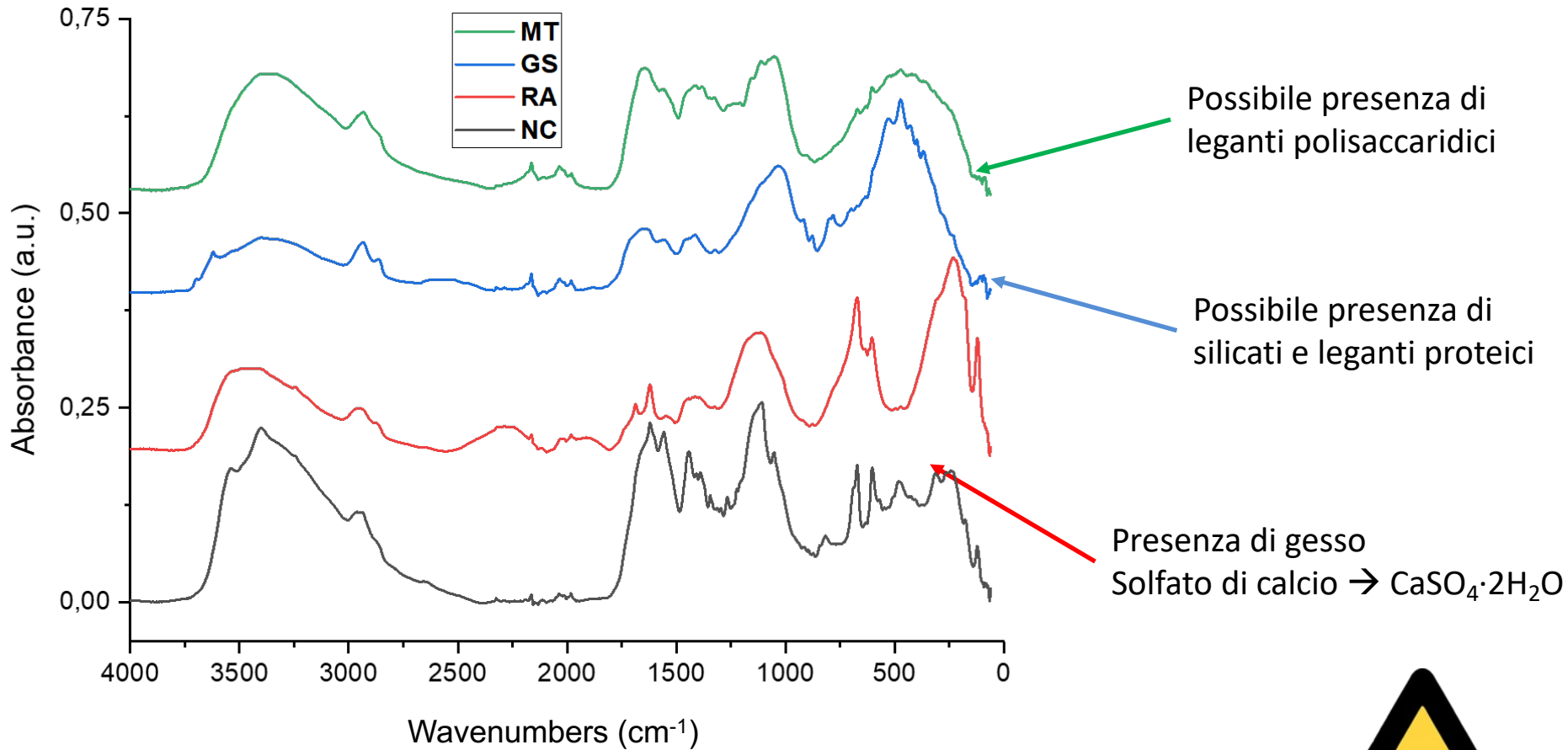
NA = Nero sfondo (avambraccio)



RA = Rosso avambraccio



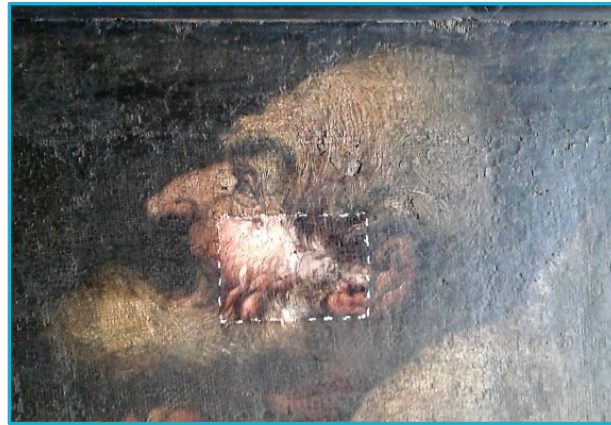
GS = Giallo saio



Work in progress



Il teschio



Saggio di pulitura



Le dita nodose



Durante il restauro



A restauro ultimato

**Più probabilmente... San Bruno**

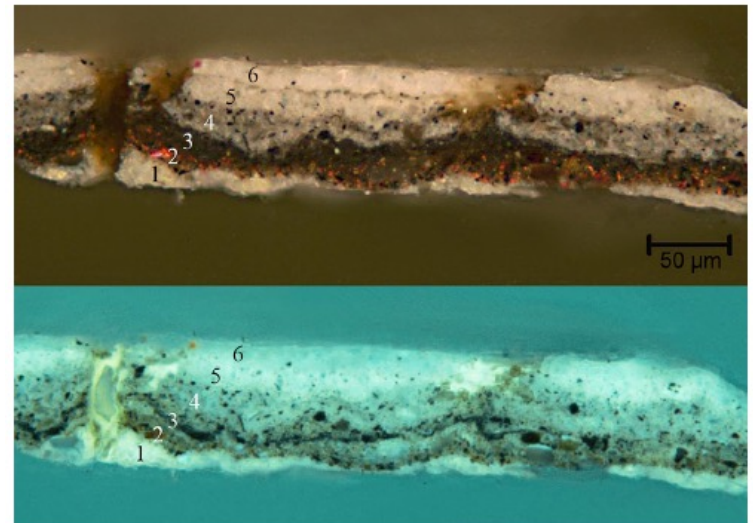
# Grazie per l'attenzione!

## Domande ???

chiaramaria.stani@ceric-eric.eu

## Campione 6

- 6. → strato bianco → quasi solo bianco di Pb.
- 5. → strato di grigio + chiaro → bianco di Pb + minore quantità di nero
- 4. → strato grigio → bianco di Pb + nero carbone
- 3. → strato nero con particelle di nero carbone molto piccole (+ nero d'ossa) → possibile abbozzo (disegno preparatorio)
- 2. → strato rosso-marrone format da vermiglione + nero carbone
- 1. → imprimitura





# Alcuni composti di restauro

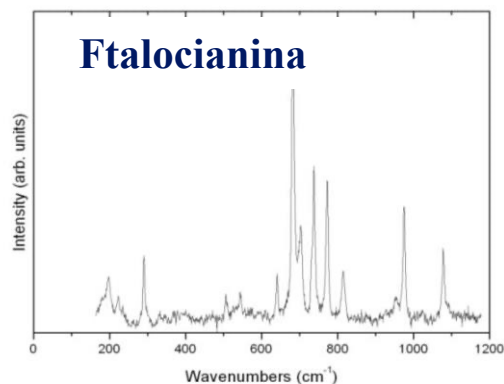
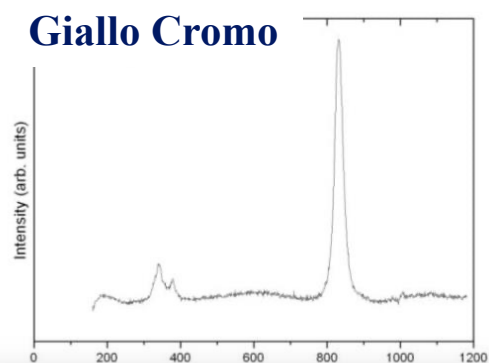
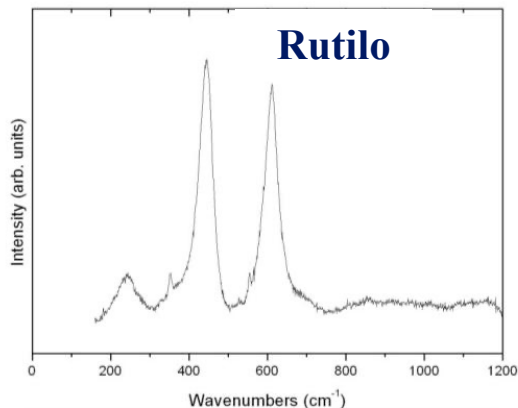


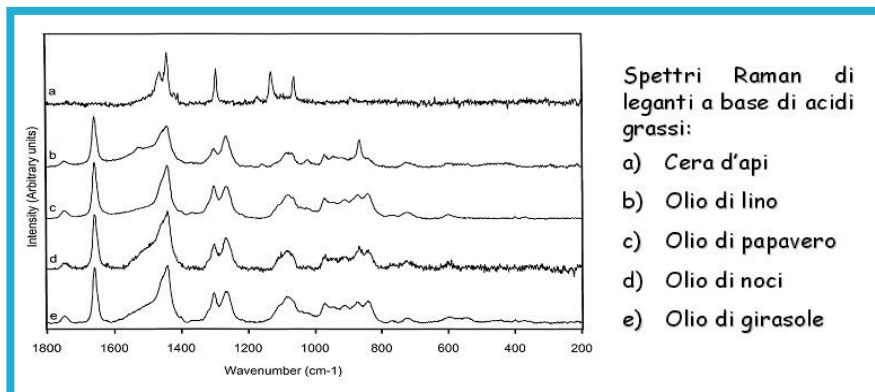
Table 7. Yellow inorganic pigments.

Pigment	Chemical name	Formula	Date
Barium yellow	barium chromate	BaCrO <sub>4</sub>	early 19th c.
Cadmium yellow	cadmium sulfide	CdS	mineral (greenockite) synthetic ca 1815
Chrome yellow	lead(II) chromate	PbCrO <sub>4</sub> or PbCrO <sub>4</sub> ·2 PbSO <sub>4</sub>	1809
Cobalt yellow (auriferin)	potassium cobaltinitrite	K <sub>3</sub> [Co(NO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> ]	1801
Lead antimonate yellow	lead(II) antimonate	Pb <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1500 BC
Lead tin yellow	lead(II) stannate	[I] Pb <sub>2</sub> SnO <sub>4</sub> [II] PbSn <sub>0.75</sub> Si <sub>0.24</sub> O <sub>3</sub>	antiquity? antiquity?
Massicot	lead(II) oxide	PbO	antiquity
Yellow ochre	goethite + clay + silica	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O + clay + silica	mineral (and synthetic)
Orpiment	arsenic(III) sulfide	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	mineral
Pararealgar	arsenic(II) sulfide	As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	ca 1220 <sup>a</sup>
Strontium yellow	strontium chromate	SrCrO <sub>4</sub>	early 19th c.
Zinc yellow	zinc chromate	ZrCrO <sub>4</sub>	early 19th c.

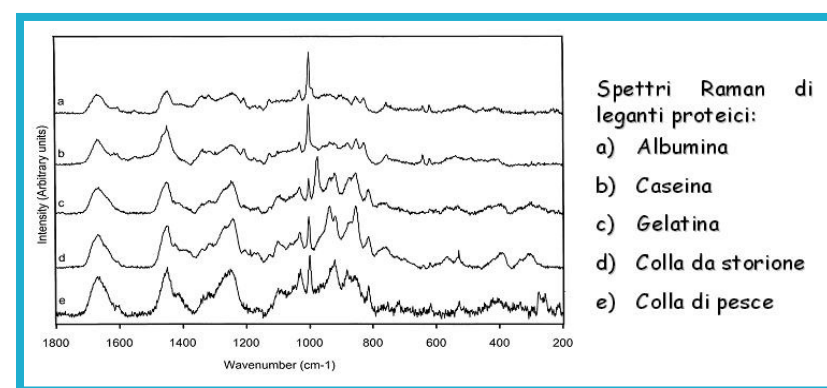
<sup>a</sup> Known to be formed by photochemical degradation of realgar. Not recognised to be a mineral until 1980. Roberts A.C., Ansell H.G., Bonardi M., Can Mineral. 18 (1980) 525.

# Caratterizzazione dei leganti pittorici

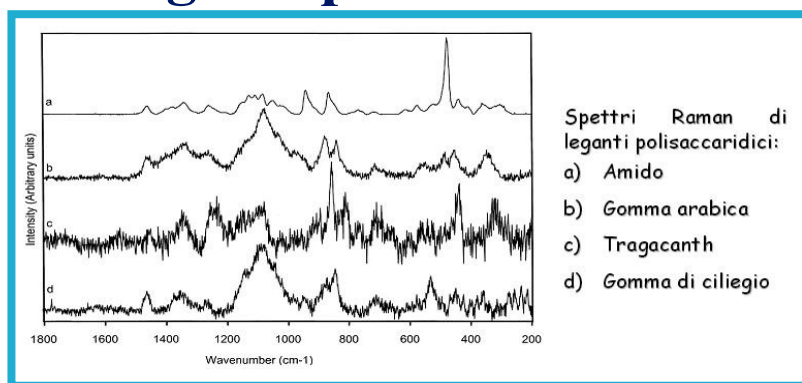
## Leganti lipidici



## Leganti proteici



## Leganti polisaccaridici



## Leganti terpenici

