



# Tecniche Fisiche per i Beni Culturali

Giovanni BUCCOLIERI

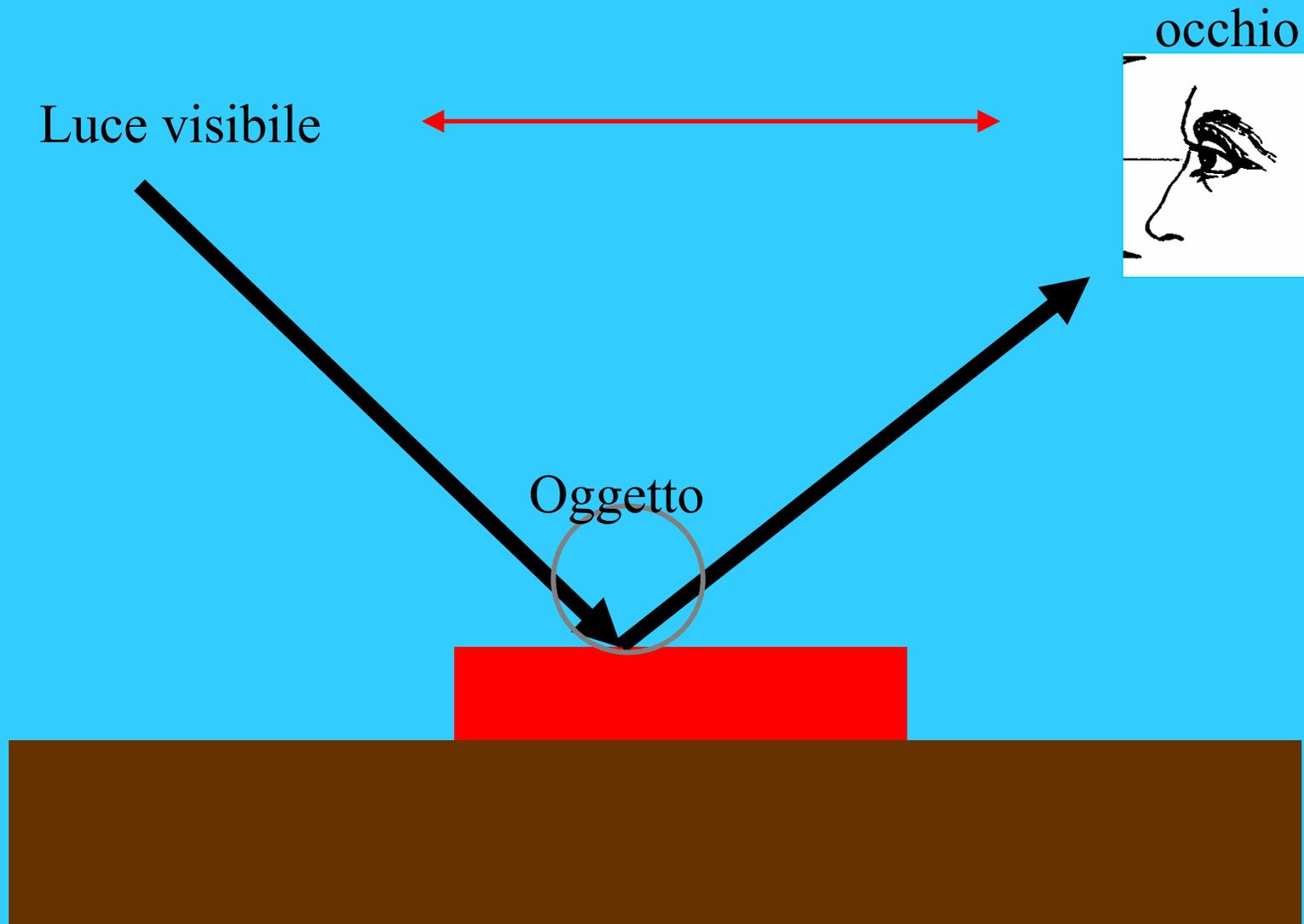
e-mail: [giovanni.buccolieri@unisalento.it](mailto:giovanni.buccolieri@unisalento.it)

Università del SALENTO

# Scopo delle indagini

- Conoscenza
- Conservazione
- Restauro

# Osservare un oggetto



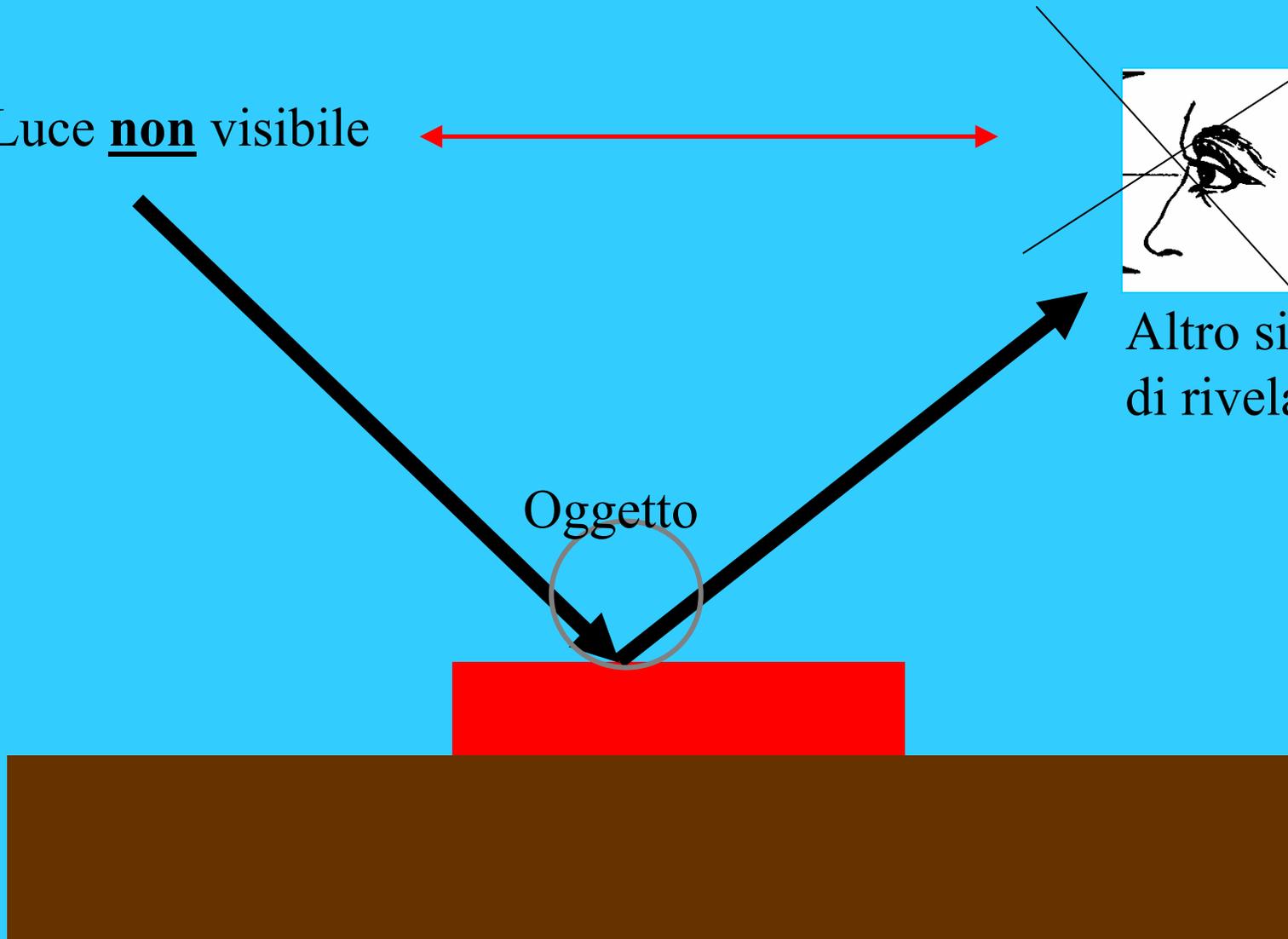
# Osservare un oggetto

Luce non visibile



Altro sistema  
di rivelazione

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.

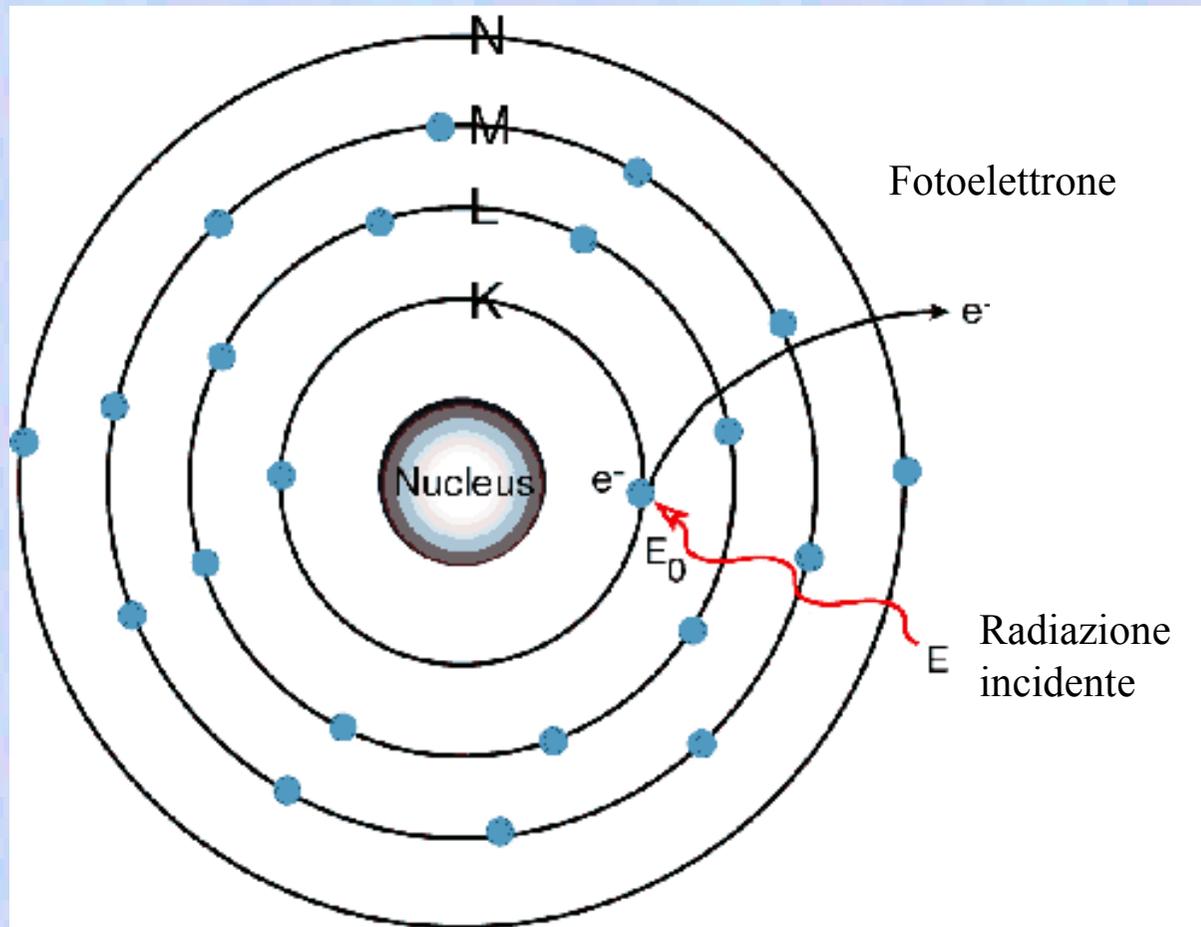
$$1\text{eV}=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

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



# Fluorescenza a raggi X

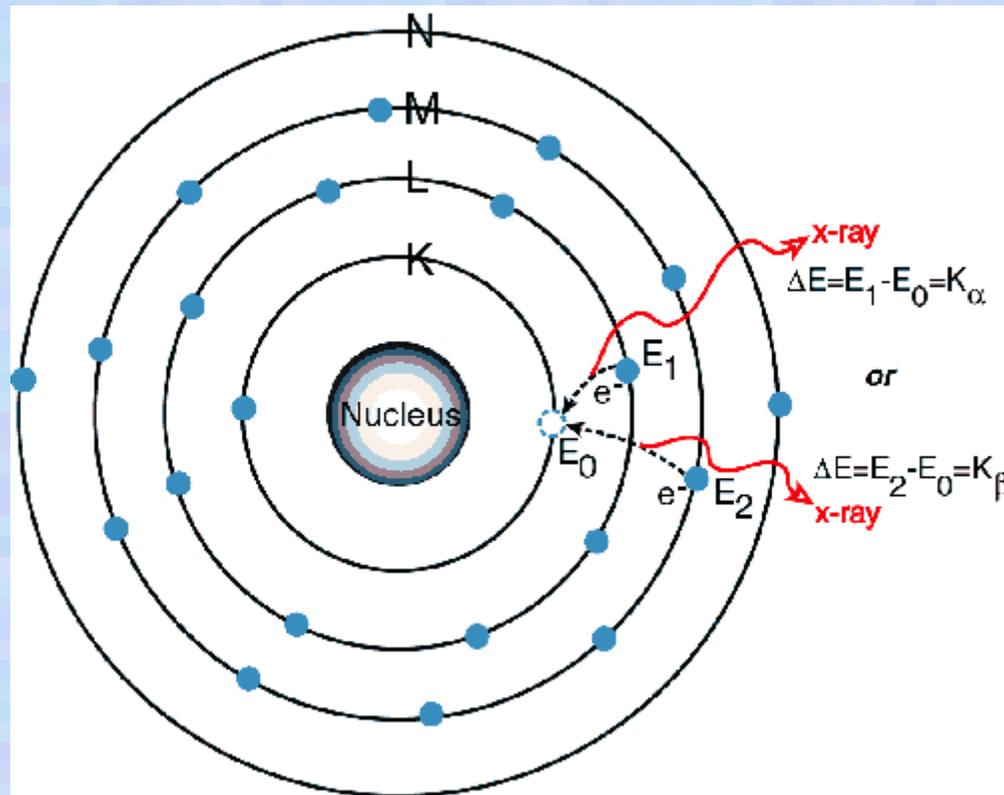
I raggi X, se di sufficiente energia, possono interagire con la materia rimuovendo elettroni interni (shell K, L o M)



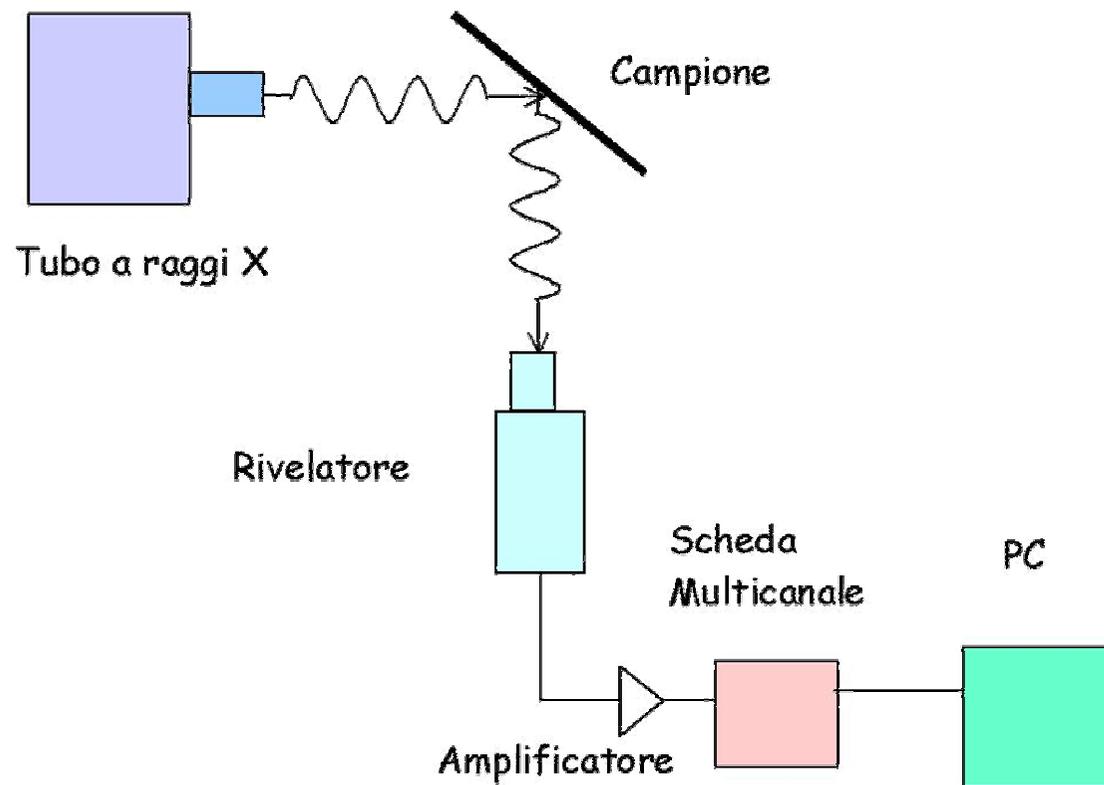
# Fluorescenza a raggi X

L'elettrone rimosso è poi sostituito da uno più esterno.

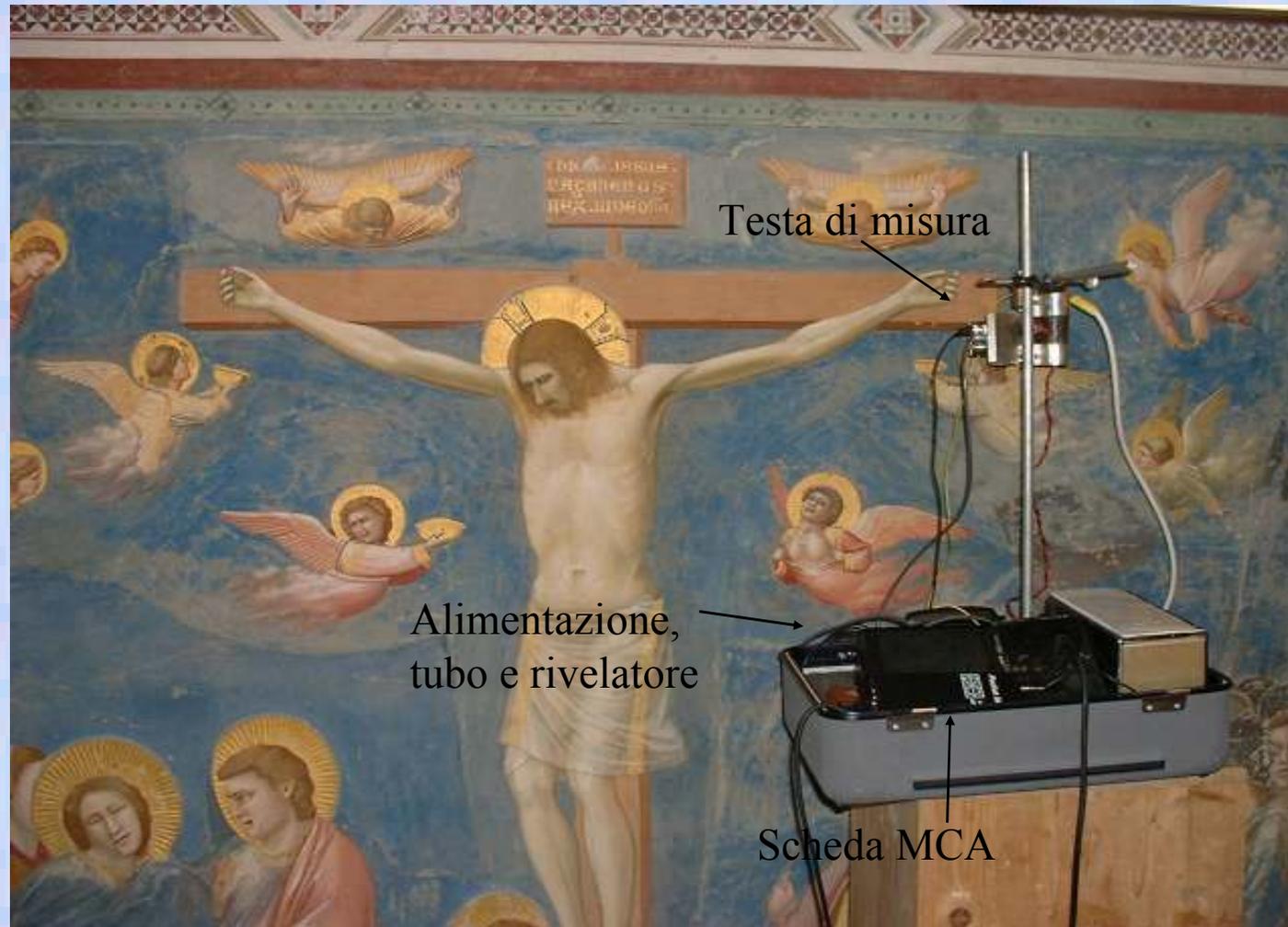
Tale processo è accompagnato dall'emissione di un fotone caratteristico dell'atomo bersaglio



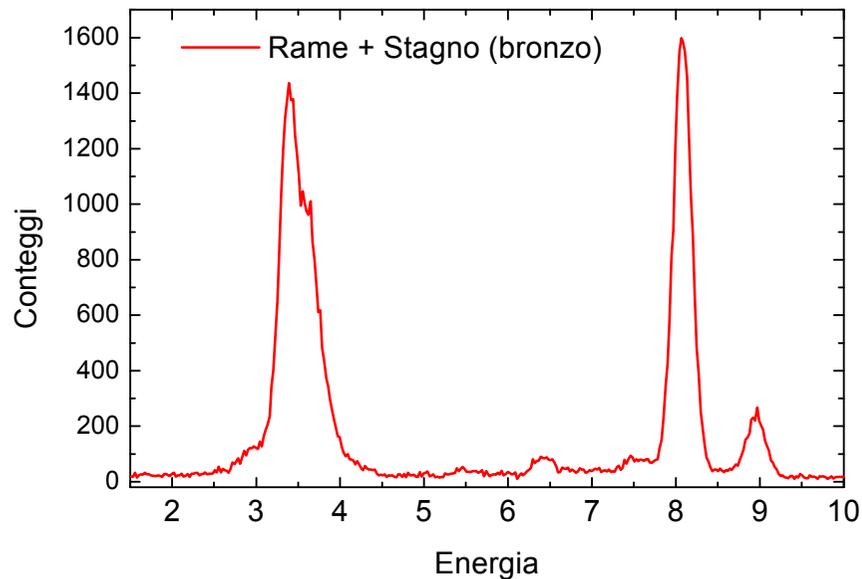
# SCHEMA A BLOCCHI DELL'APPARATO SPERIMENTALE



# Strumentazione utilizzata



“Osservando” un campione di incognita composizione chimica, ogni elemento chimico produrrà un segnale (picco) la cui posizione lungo l’asse orizzontale (energia) identifica l’elemento stesso. Il picco sarà poi tanto più alto quanto maggiore è la presenza di quel dato elemento nel campione analizzato. Nella Tabella che segue sono riportate le “posizioni” (energia in keV) per alcuni elementi chimici.



Elemento	Simbolo	Posizione
Zolfo	S	2.3
Calcio	Ca	3.7 - 4.0
Ferro	Fe	6.4 – 7.0
Zinco	Zn	8.6 - 9.6
Rame	Cu	8.0 – 8.9
Stagno	Sn	3.4 – 3.7
Argento	Ag	2.9
Oro	Au	9.7 – 11.4
Cromo	Cr	5.4 – 5.9
Nichel	Ni	7.5 - 8.3

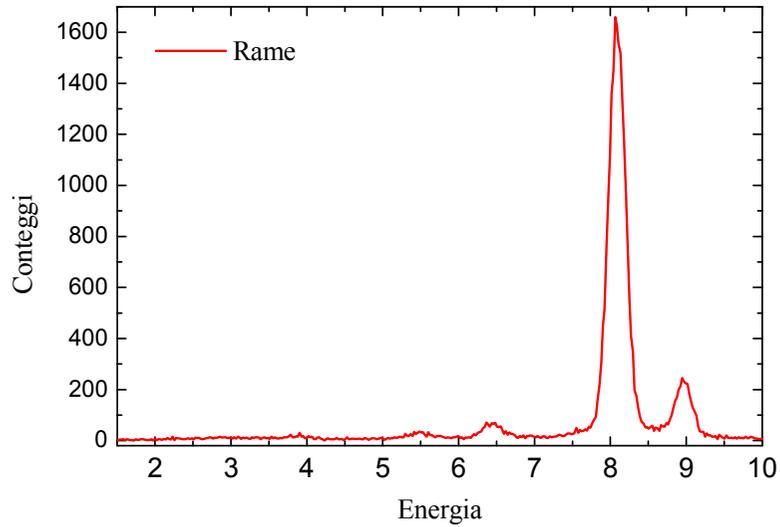


Grafico ottenuto “osservando”  
un frammento di rame

+

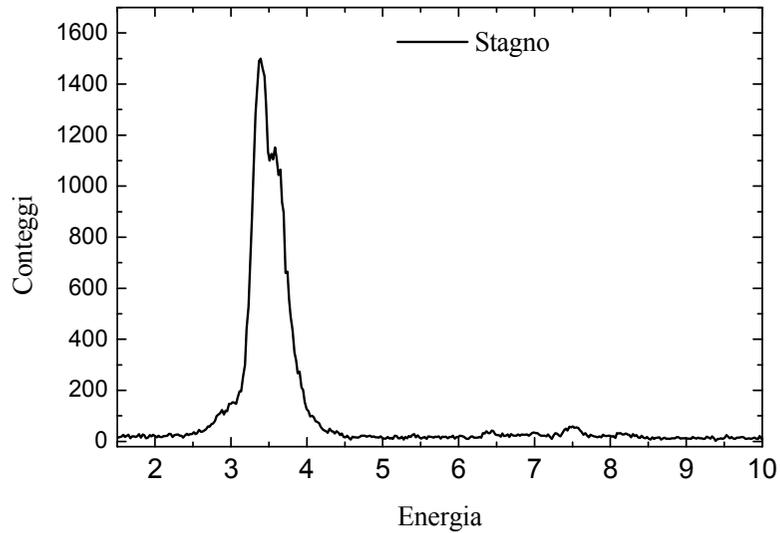
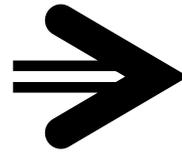
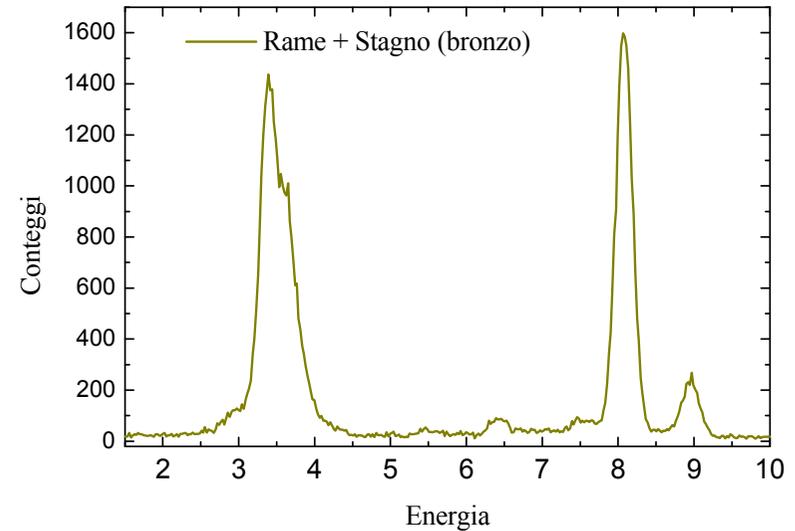


Grafico ottenuto “osservando”  
un frammento di stagno

Grafico ottenuto “osservando”  
un frammento di bronzo



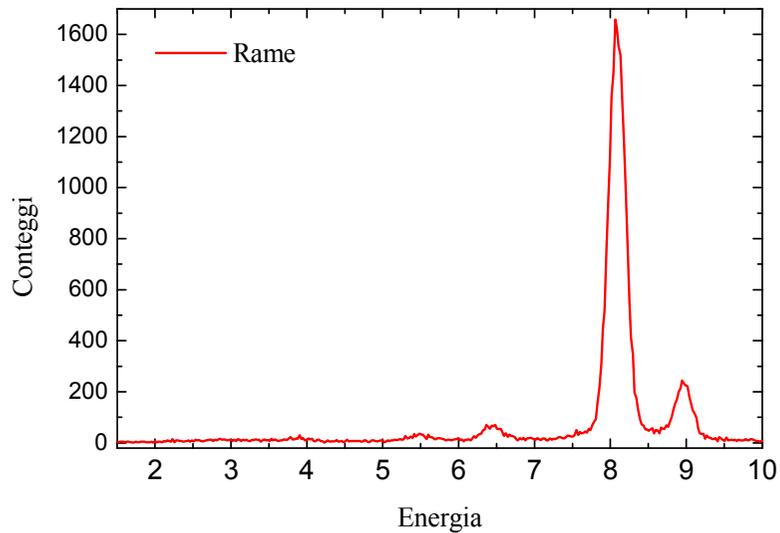


Grafico ottenuto “osservando”  
un frammento di rame

Grafico ottenuto “osservando”  
un frammento di lega rame-argento

+

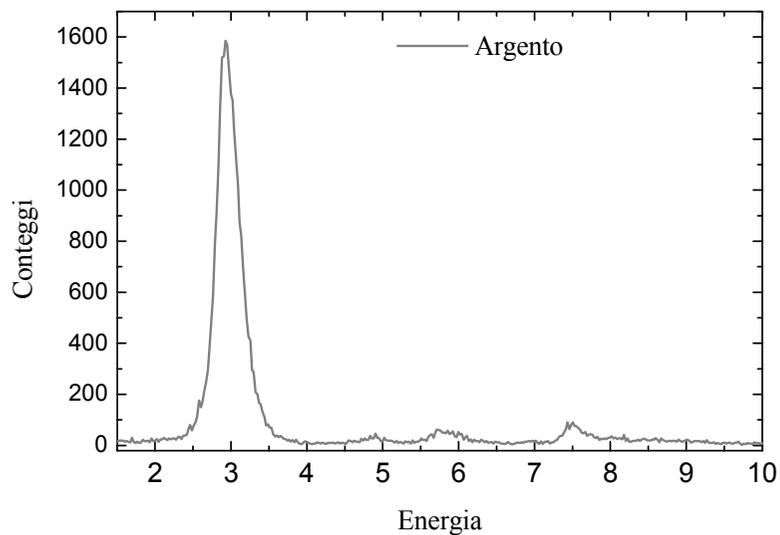
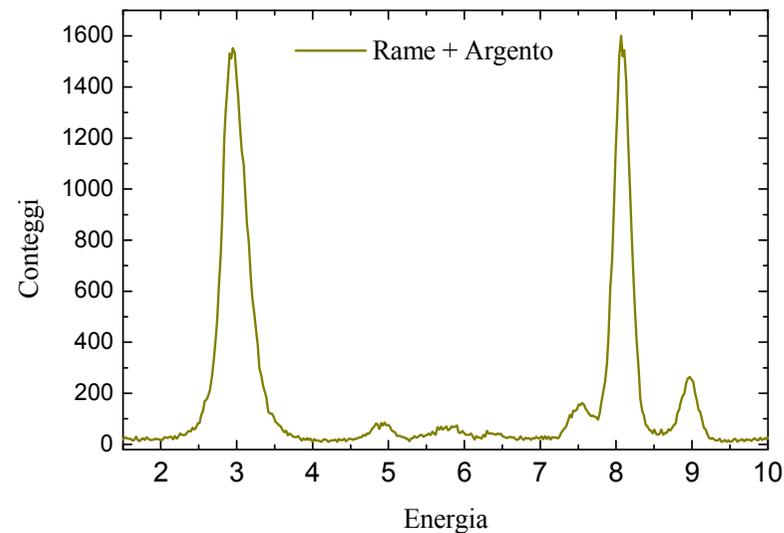
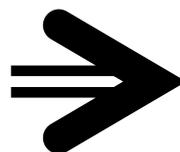


Grafico ottenuto “osservando”  
un frammento di Argento

# “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 – Soletto (LE)

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

# La Cappella degli Scrovegni

La cappella degli Scrovegni è una costruzione in mattoni di cui si ignora l'architetto. Fu commissionata da Enrico Scrovegni in suffragio dell'anima del padre Reginaldo, reso famoso da Dante che, nel canto XVII dell'*Inferno*, lo accusa di usura, e contemporaneamente per allontanare da se il rischio di andare incontro alla stessa sorte in quanto anche egli era in odore di usura. Infatti, nella scena del *Giudizio Universale*, Enrico, in penitenza, con il sacro dono restituisce simbolicamente quanto aveva lucrato con l'usura.

Iniziata nel 1303, la chiesa fu consacrata nel 1305, dedicata alla *Vergine Annunziata*, e inizialmente utilizzata come cappella funeraria.

La chiesa è caratterizzata da un'unica navata con volta a botte e dalla presenza di due altari laterali. Per affrescare l'interno della chiesetta Enrico Scrovegni chiamò Giotto, che in questo ciclo pittorico raggiunse la piena maturità della propria espressione artistica.



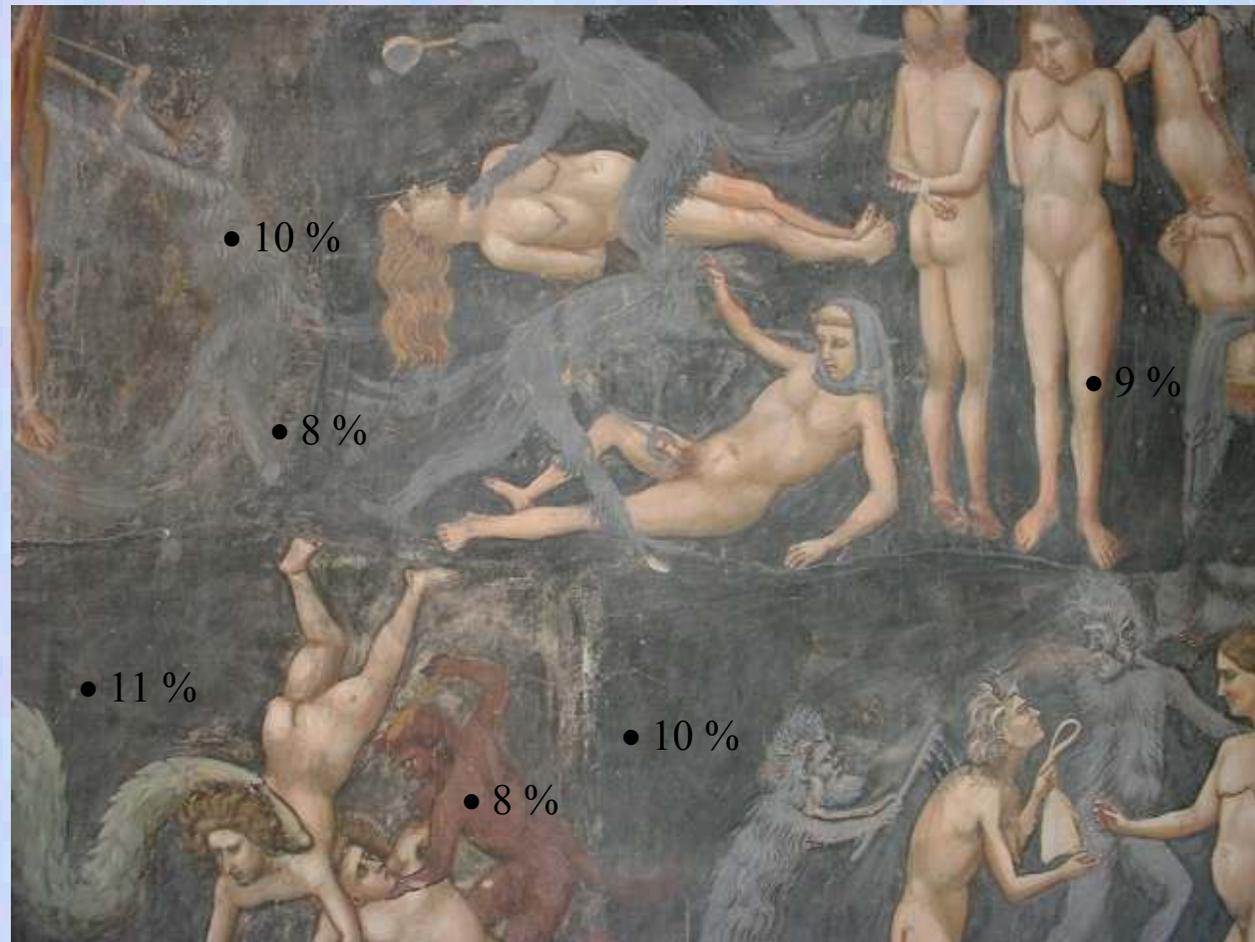
# Scopi delle misure

- Determinare il tenore di zolfo sulla superficie degli affreschi;
- Valutare se con opportuni trattamenti questo si riduceva o addirittura scompariva;
- Caratterizzare i pigmenti utilizzati da Giotto ed evidenziare quindi eventuali interventi di restauro.

La presenza dei composti di zolfo è correlata al degrado dell'opera d'arte e quindi la sua determinazione è alla base di ogni intervento di restauro

# Esempi di punti di misura

L'affresco del *Giudizio Universale* occupa l'intera controfacciata soprastante la porta principale. Alla destra della croce centrale si apre la voragine dell'inferno. Gran parte della parete è caratterizzata da un tenore di zolfo intorno al 10%. Nella figura sono indicati alcuni punti di misura.



# Esempi di punti di misura

Al contrario della controfacciata, la parete sinistra ed in particolare l'affresco *Cacciata dei mercanti dal tempio* è caratterizzata da valori molto bassi di zolfo (valori prossimi al limite di rivelabilità del metodo). Si comprende quindi la necessità di una campagna di misura prima di procedere ad eventuali trattamenti.



# Possibili trattamenti

In Figura (Entrata di Gesù a Gerusalemme) sono evidenti alcuni possibili trattamenti per l'eliminazione dei composti dello zolfo.

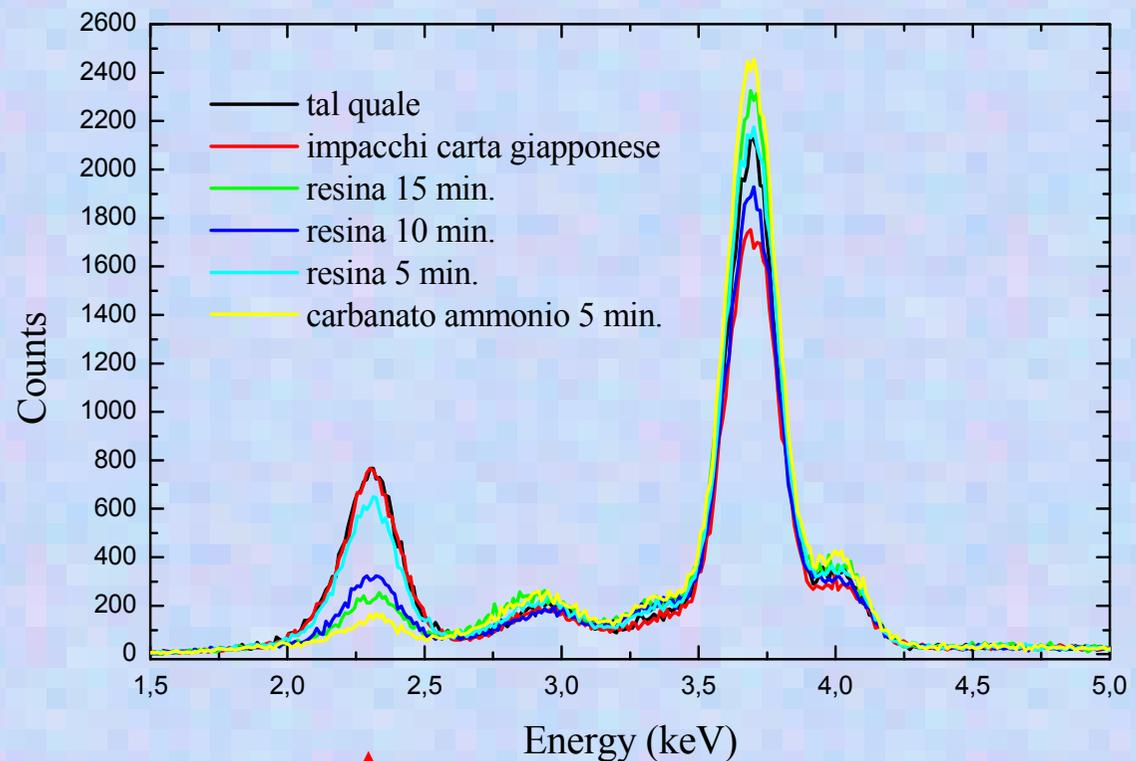
- In alto si possono vedere gli impacchi di carta giapponese.
- La zona bianca (centro della foto in corrispondenza del piede dell'uomo sull'albero) corrisponde ad un trattamento con carbonato d'ammonio.



# Spettri relativi ai diversi processi di trattamento

Su una regione ad alto tenore di zolfo (circa il 13%) sono stati eseguiti 3 differenti processi di eliminazione dei solfati:

- mediante impacchi di polpa di carta con acqua calda deionizzata per 10 minuti (processo rilevatosi non adeguato);
- con resina a scambio anionico per 5, 10 e 15 minuti (lo zolfo è stato ridotto rispettivamente al 10%, 4% e 2%);
- con carbonato d'ammonio (riduzione all' 1/1.5%).



↑  
**zolfo**



Con misure eseguite *in situ* è stato possibile:

- Valutare i diversi processi di pulitura;
- Indicarne i più idonei;
- Testare la pulitura;
- “Dare risposte” ad una serie direi infinita di domande.

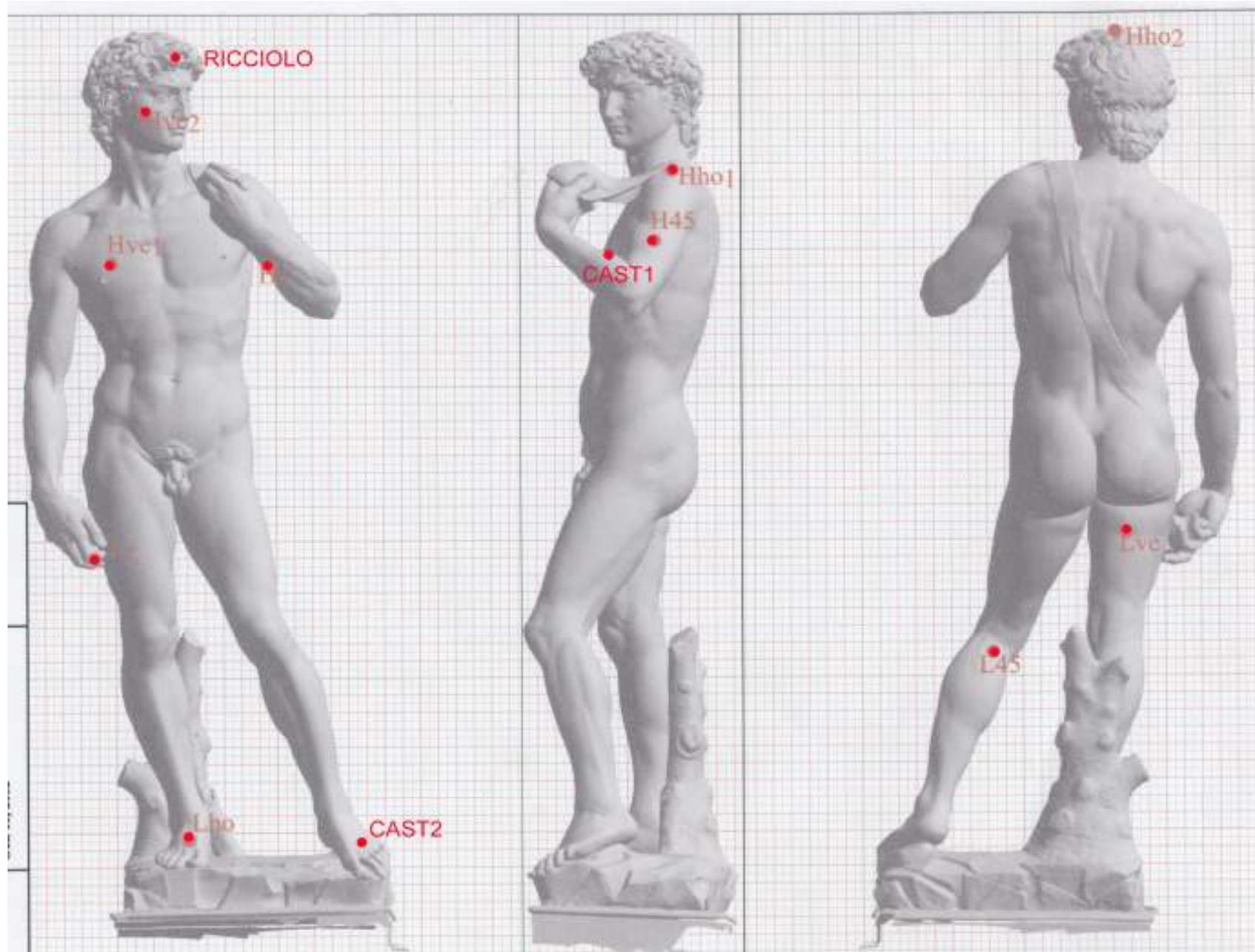
# Il David di Michelangelo



# Notizie sul David

- La statua, realizzata in marmo bianco e alta oltre 4 metri, fu eseguita da Michelangelo fra il 1501 e il 1504 e collocata in piazza della Signoria a Firenze. Il marmo non fu scelto da Michelangelo e la qualità è risultata scadente fino dalle sue origini.
- Nel 1512 un fulmine colpisce il basamento del David compromettendo la staticità dell'opera.
- Nel 1527 il braccio sinistro va in pezzi in occasione di sollevamenti popolari antimedicei: nel 1543 viene eseguita l'impernatura dei pezzi frammentati.
- Nel 1813 Stefano Ricci eseguì il primo restauro documentato ripulendo e proteggendo la superficie marmorea con della cera stesa a caldo (encausto).
- Nel 1843 Aristodemo Costoli pulì il David con una soluzione di acido cloridrico al 50%.
- Nel 1847 Clemente Papi realizzò il calco del David: tale operazione può aver lasciato tracce di gesso ed altre sostanze. Inoltre, l'enorme peso dei tasselli ebbe conseguenze sulla già precaria situazione statica (perdita di coesione del basamento).
- Nel 1852 fu istituita la prima commissione incaricata di studiare le condizioni del David: fu osservato un profondo dilavamento che, nelle zone maggiormente battute dall'acqua, superava i 2 mm.
- Nel novembre del 1873 il David fu trasportato in Accademia: le condizioni del David risultavano visibilmente peggiori di quelle di altre statue coeve ed erano inoltre evidenti macchie di muffe.
- Nel 1991 il secondo dito del piede sinistro è danneggiato da un atto vandalico: per la ricostruzione è stata utilizzata resina e polvere di marmo.

# Punti di misura



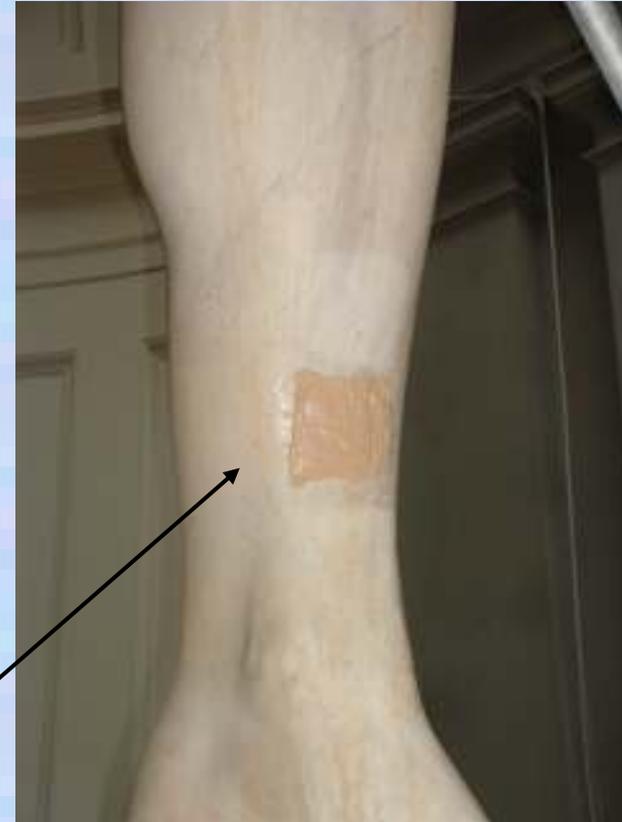
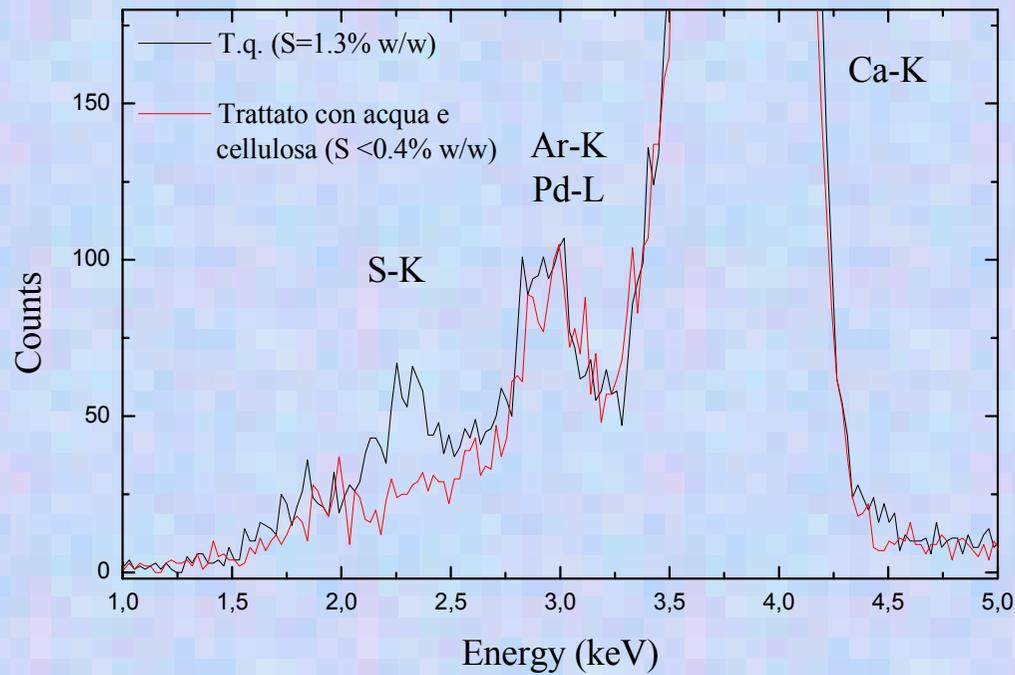
# Processi di desolforazione

Individuate zone ad elevato tenore di zolfo, sono state eseguite prove di pulitura al fine di testare i diversi processi di desolforazione:

- Impacchi di carta giapponese con acqua distillata;
- Resina a scambio anionico (scambiano  $\text{SO}_4^{2-}$  con  $\text{OH}^-$ );
- Essenza di petrolio;
- Essenza di petrolio e acqua;
- Solvigel;
- Solvigel ed acqua.

# Processi di desolfurazione

Punto di misura G1A: gamba sinistra



Carta giapponese  
+ acqua

# Risultati ottenuti

Le misure eseguite in situ hanno permesso di valutare “in corso d’opera” i diversi processi di pulitura indicandone quindi i più opportuni.



# Il Perseo di Benvenuto Cellini

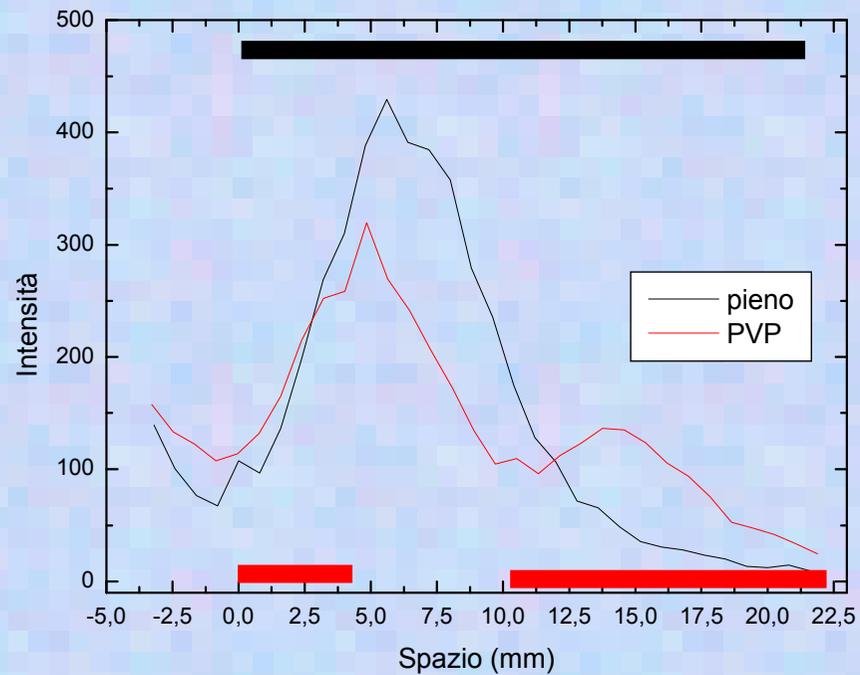
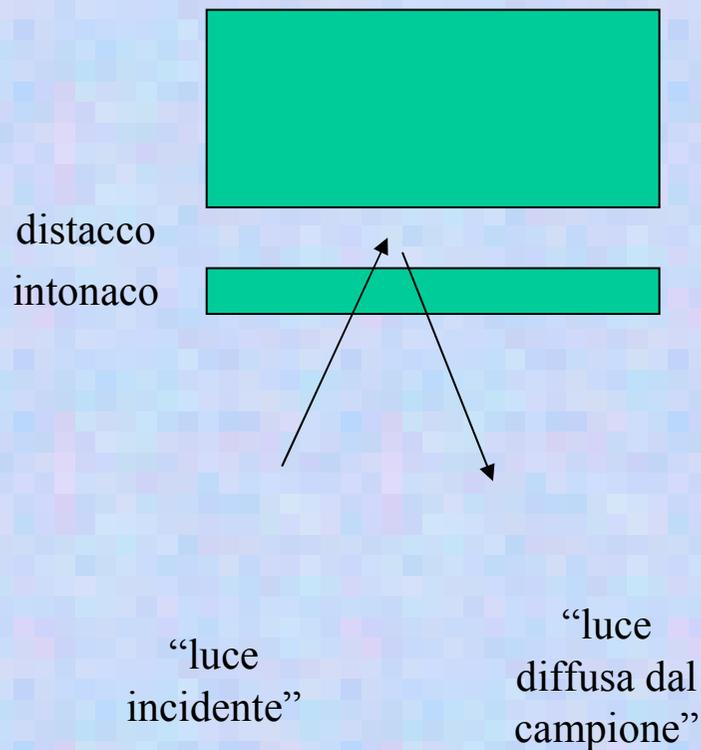




Gli affreschi di  
Piero della Francesca  
Arezzo

# Tomografia Compton

La produzione di “luce” Compton, da parte di un campione opportunamente “illuminato” dipende dalla densità del materiale impiegato e quindi in questo modo è possibile individuare e misurare i possibili distacchi dell’intonaci (affreschi).



# La tomografia Compton nella “Stanza di Eliodoro” affrescata da Raffaello (Musei Vaticani)



Gruppo di lavoro:

Prof. Cesareo - Università di Sassari;

Dr. Santamaria - responsabile restauri Musei Vaticani.

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

**Francesco ADDUCI<sup>a</sup>, Alessandro BUCCOLIERI<sup>b</sup>,  
Giovanni BUCCOLIERI<sup>b</sup>, Alfredo CASTELLANO<sup>b</sup>,  
Roberto CESAREO<sup>c</sup>, Fabrizio VONA<sup>d</sup>**

*<sup>a</sup> Università di Bari, Dipartimento di Fisica, via Orabona 4, 70125, Bari*

*<sup>b</sup> Università del Salento, Dipartimento di Scienza dei Materiali, via Monteroni, 73100, Lecce*

*<sup>c</sup> Università di Sassari, Dipartimento di Matematica e Fisica, via Vienna 2, 7100, Sassari*

*<sup>d</sup> 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  
1513-1518



Ritratto di Lucina Brembat  
Olio su tavola,  
cm 52,5 x 44,5  
Bergamo, Accademia  
Carnia  
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 Fagnolo  
1521



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



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



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



Adorazione dei pastori  
Olio su tela, cm 147 x 186  
Brescia, Pinacoteca Civica  
Tosio Martinengo  
1534 circa



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

## Italia



Suevia e i vecchi  
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 a 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  
1552-1558



Ritratto di giovanetto  
Olio su tavola,  
cm 34,5 x 27,5  
Milano, Museo d'Arte Antica del Castello Sforzesco, Pinacoteca  
1528 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 100  
Milano, Pinacoteca di Brera  
1545



Crocifissione  
Olio su tela, cm 425,5 x 348  
Monte San Giusto, Santa Maria in Telusiano  
1533-1534

**Italia**



*Madonna con il Bambino e san Pietro martire*  
Olio su tavola, cm 56 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



*Politica dei santi*  
Vincenzo e Alessandro  
Olio su tavola  
Portoferrato, Santi Vincenzo e Alessandro  
1525 (?)



*Politica di Riccardi*  
Olio su tavola  
Recanati, Pinacoteca Civica  
1500-1508



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



*Madonne 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 612  
Trescore Balneario, Oratorio Santi, 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



*Elevazione di sant'Antonio*  
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 gerolamo con pappavero di Leone*  
Olio su tela, cm 95,5 x 89,5  
Vienna, Kunsthistorisches Museum  
1527 circa



*Madonna con il Bambino e i santi Caterina d'Alessandria e Tommaso*  
Olio su tela, cm 113,0 x 152  
Vienna, Kunsthistorisches Museum  
1528 circa



*Triplice ritratto di ufficio*  
Olio su tela, cm 52,1 x 78,1  
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 80  
Parigi, Musée du Louvre  
1526

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

# ....e il “San Felice in Trono”?

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

•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 ammucchiati 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  $\mu$ A
- Rivelatore Si-PIN (mod. XR100T) prodotto dalla AMPTEK, raffreddato termoelettricamente, avente una finestra di Be da 25  $\mu$ 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

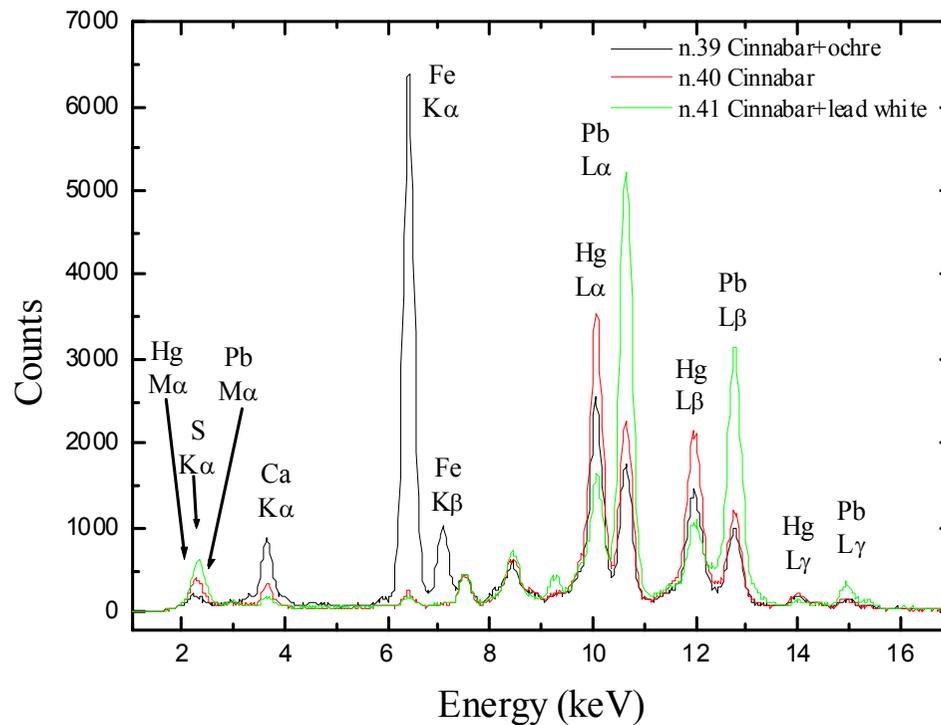
La presenza di piombo in tutti i pigmenti ha permesso di poter supporre una imprimitura dell'intera tela in bianco di biacca



# 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 ocra 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 ocra 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

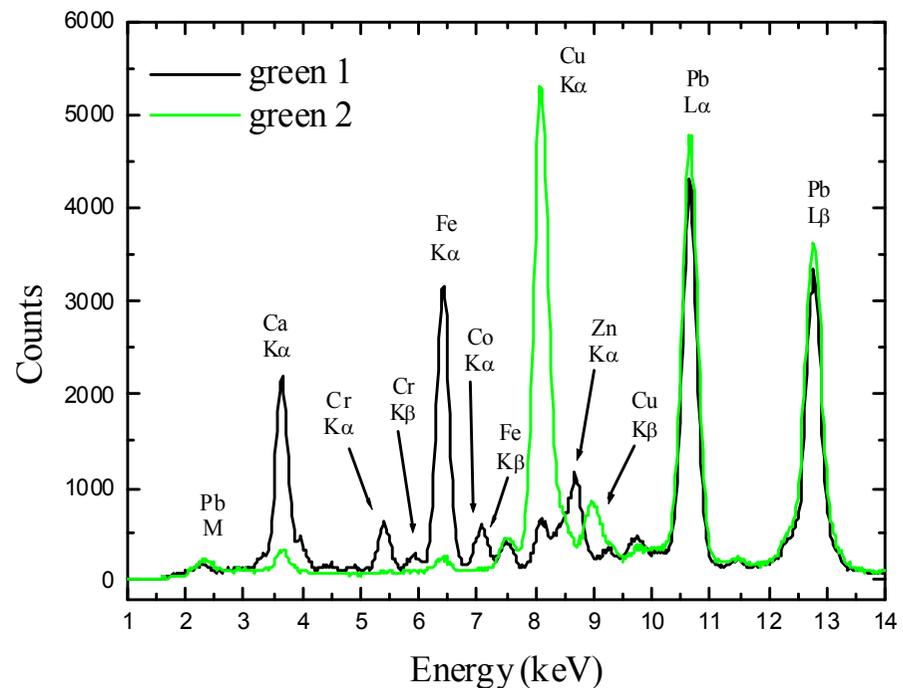


### Verde 1

Presenza di Fe (terra verde)

Tracce di Cr, Zn e Co: probabile presenza di ossido di cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) e verde di cobalto ( $\text{CoO}$  n $\text{ZnO}$ ). 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.

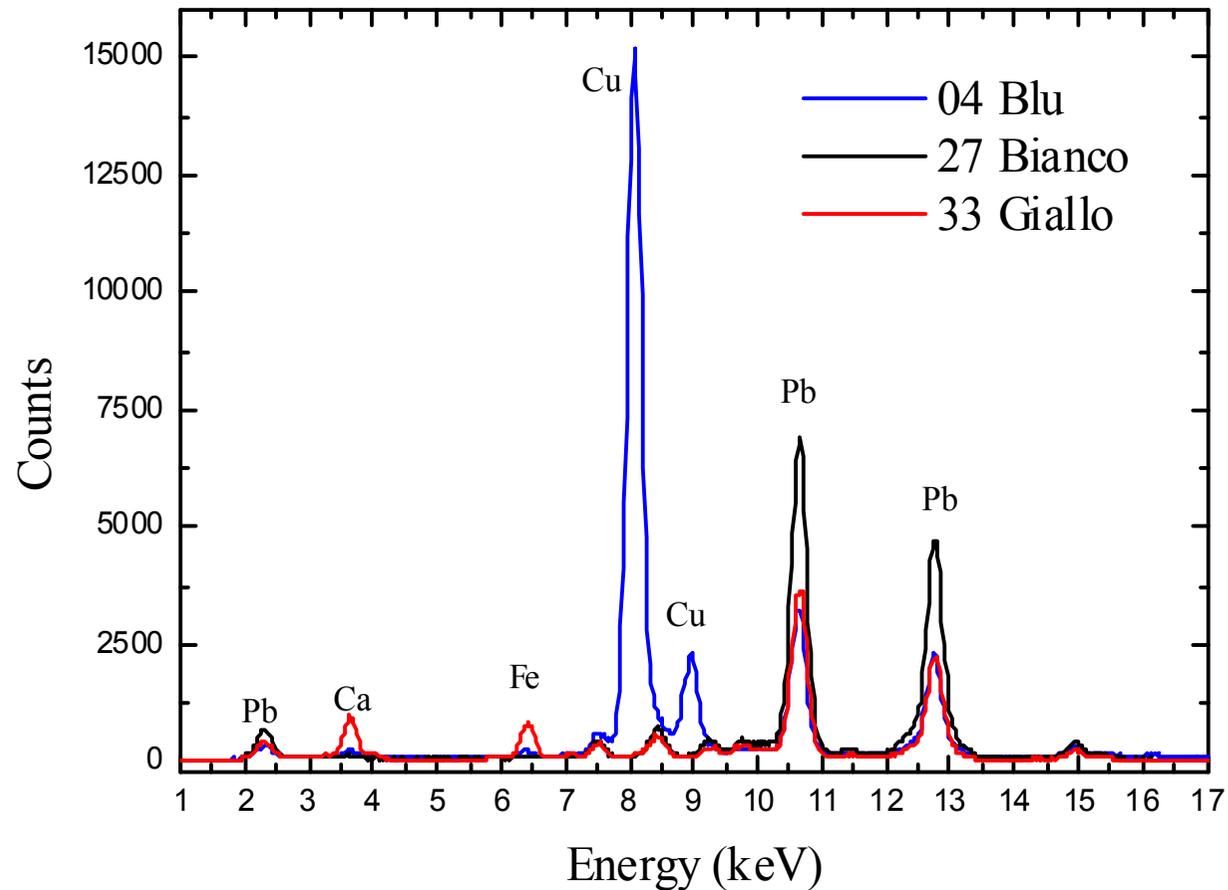


# ALTRI PIGMENTI

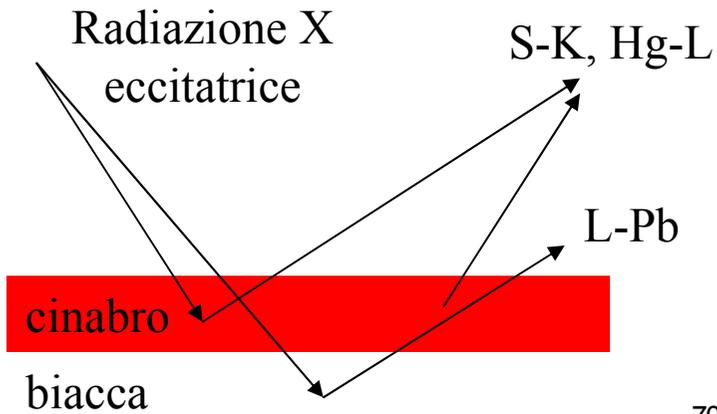
Pigmenti Blu: sono costituiti principalmente da Cu (azzurrite)

Pigmenti Bianchi: presenza di Pb (biacca)

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

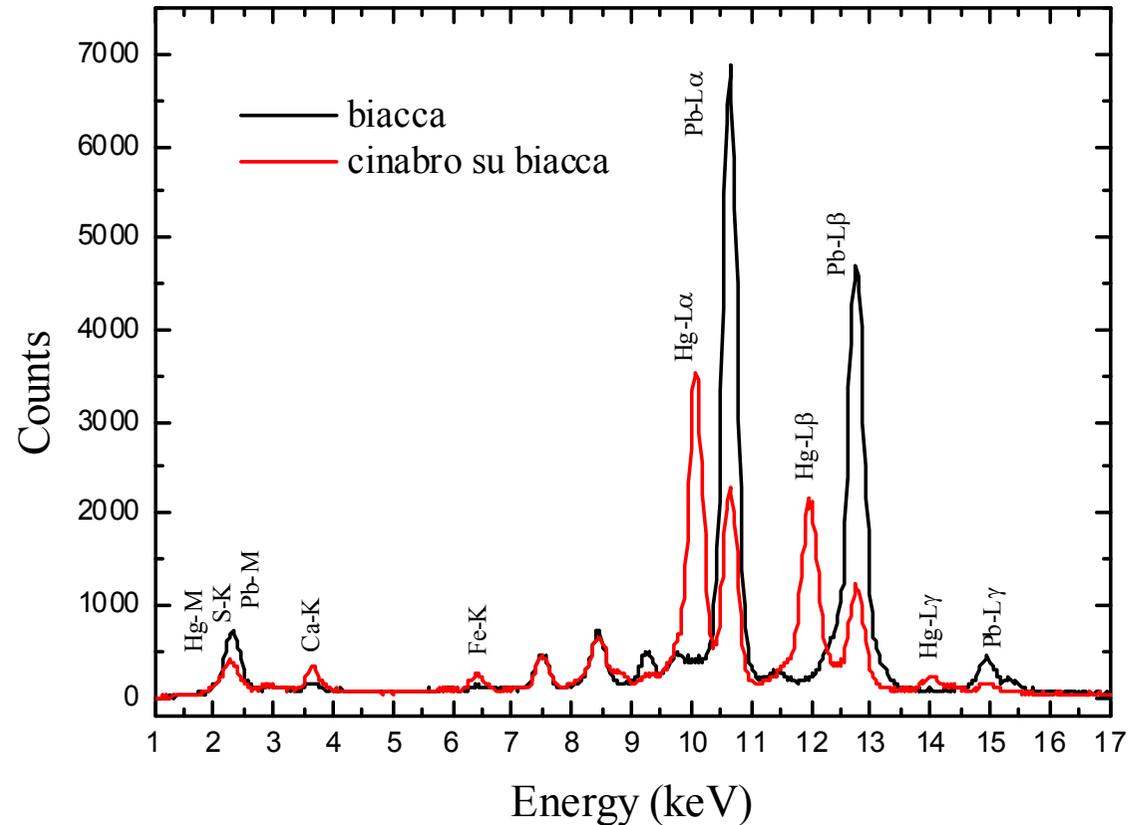


# STRATIGRAFIA DEI PIGMENTI



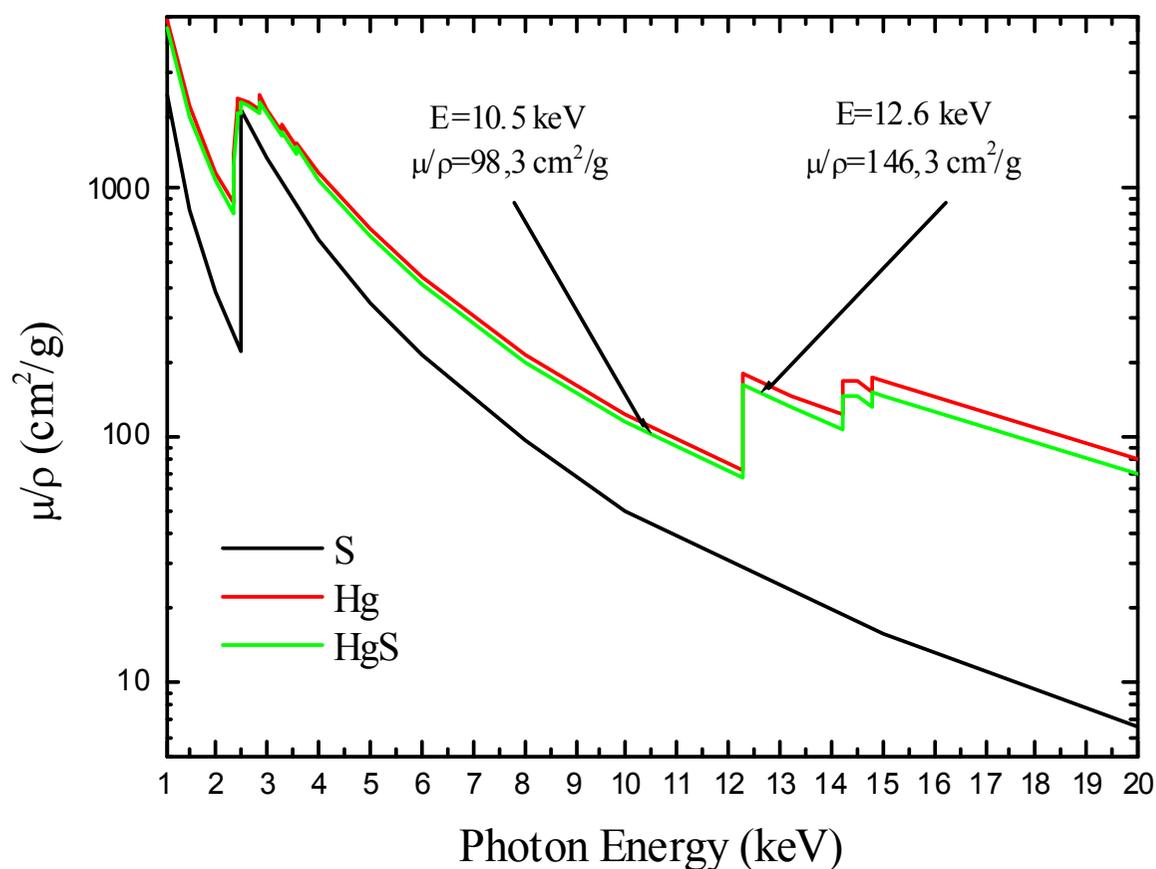
In presenza di cinabro su biacca (imprimitura) è possibile studiare la stratigrafia dei pigmenti.

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<sub>α</sub> e Pb-L<sub>β</sub>, che sono differenzialmente assorbite dal cinabro.

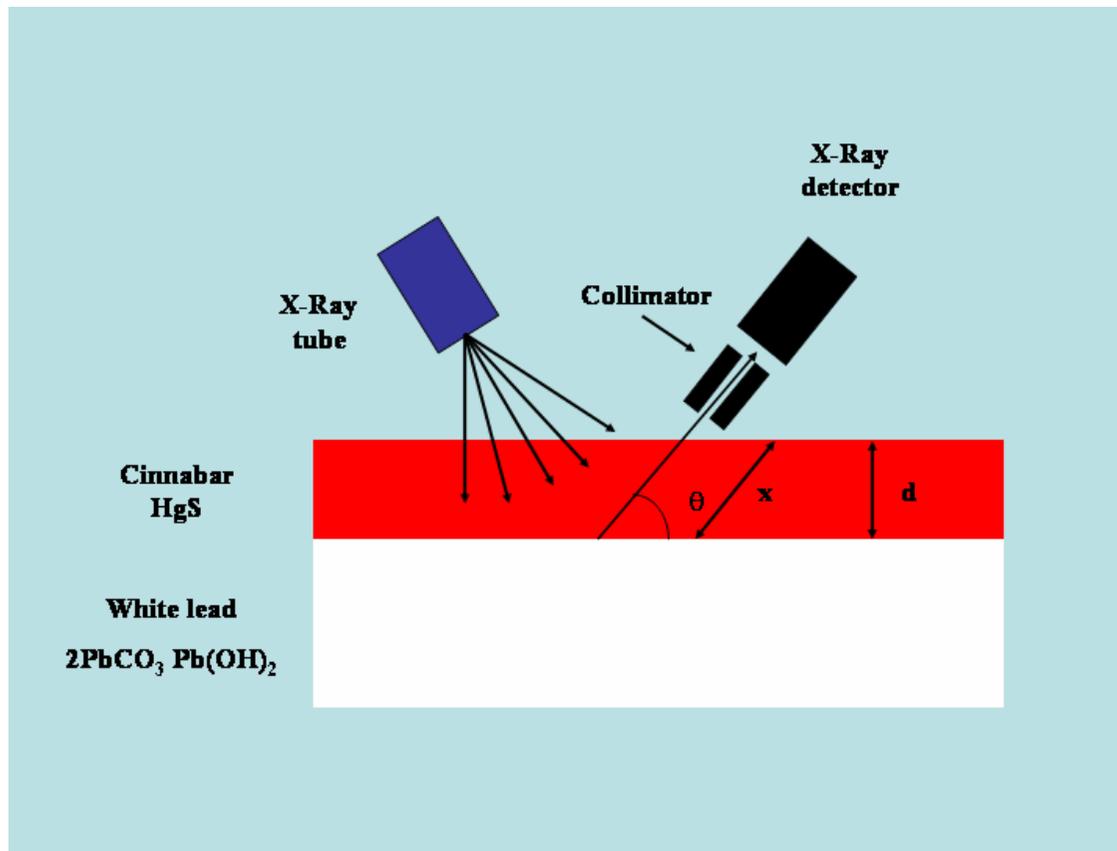
La radiazione Pb-L<sub>β</sub> (12.6 keV) è molto più assorbita della radiazione Pb-L<sub>α</sub> (10.5 keV) poiché i rispettivi coefficienti di assorbimento di massa sono μ<sub>β</sub>=146.3 cm<sup>2</sup>/g and μ<sub>α</sub>=98.3 cm<sup>2</sup>/g.



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

$x$ : percorso in  $\text{g}/\text{cm}^2$  della radiazione  $\text{Pb-L}_\alpha$  ( $E_1=10.5 \text{ keV}$ ) and  $\text{Pb-L}_\beta$  ( $E_2=12.6 \text{ keV}$ ) 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.



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

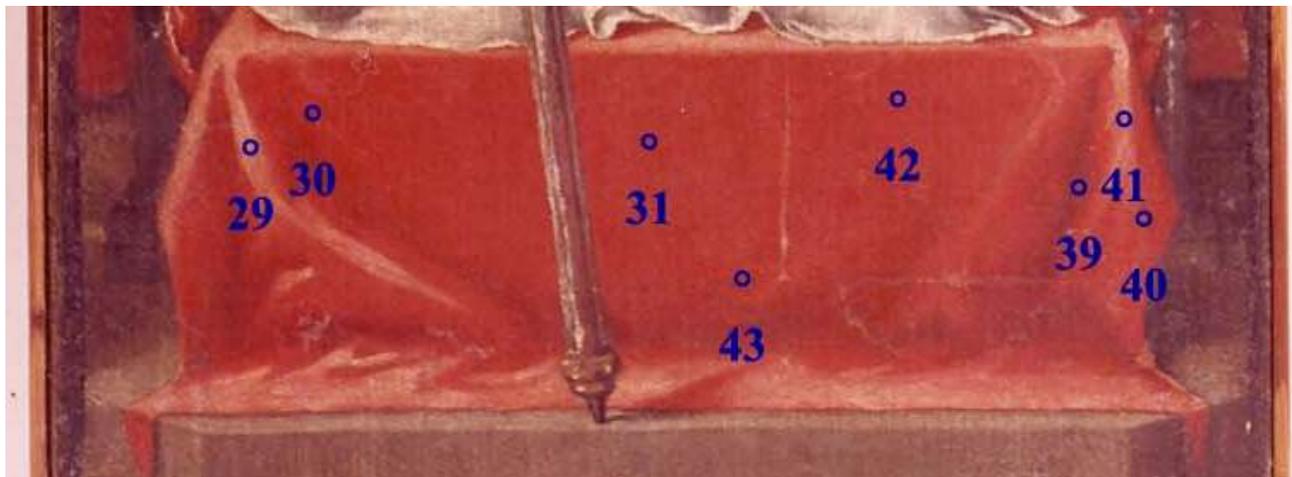
$$\frac{I_{E1}}{I_{E2}} = \frac{(I_{E1})_0}{(I_{E2})_0} e^{-(\mu_{E1}-\mu_{E2})x}$$

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

$$d = x \sin \theta$$

**“Spessori equivalenti”  
di cinabro**

<b>Zona</b>	<b>Spessore (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>20</b>	<b><math>3.8 \pm 0.5</math></b>
<b>30</b>	<b><math>6.8 \pm 1.1</math></b>
<b>31</b>	<b><math>8.3 \pm 0.5</math></b>
<b>32</b>	<b><math>6.0 \pm 1.0</math></b>
<b>39</b>	<b><math>5.0 \pm 0.8</math></b>
<b>40</b>	<b><math>5.7 \pm 0.4</math></b>
<b>42</b>	<b><math>7.6 \pm 1.0</math></b>
<b>43</b>	<b><math>7.9 \pm 1.7</math></b>



## 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.

## Indagini per la conservazione e il restauro del Monumento bronzeo a Garibaldi e ai Mille in Quarto, Genova



Gruppo bronzeo celebrante l'impresa dei Mille, fuso nel 1914, dello scultore Eugenio Baroni, sito in Quarto, a meno di cento metri dal mare

Scopi:

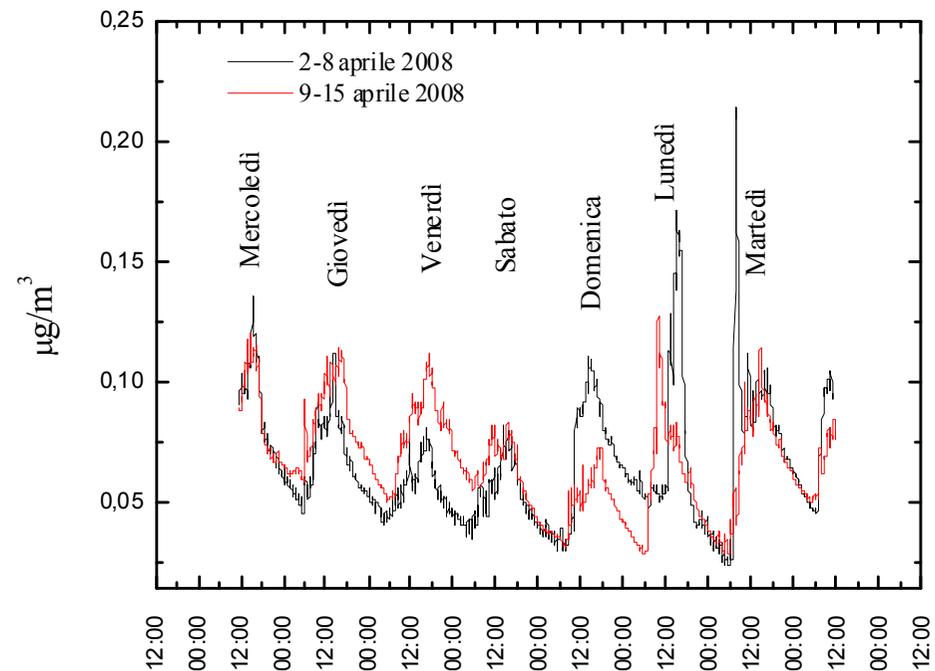
- Studio delle patine;
- Studio dei protettivi;
- Testare i processi di pulitura



# Galleria dell'Accademia – Firenze



## Studio del particolato



# Le cinque porte bronzee medievali di Puglia



Monte Sant'Angelo - 1076

Canosa (Figura) - 1111

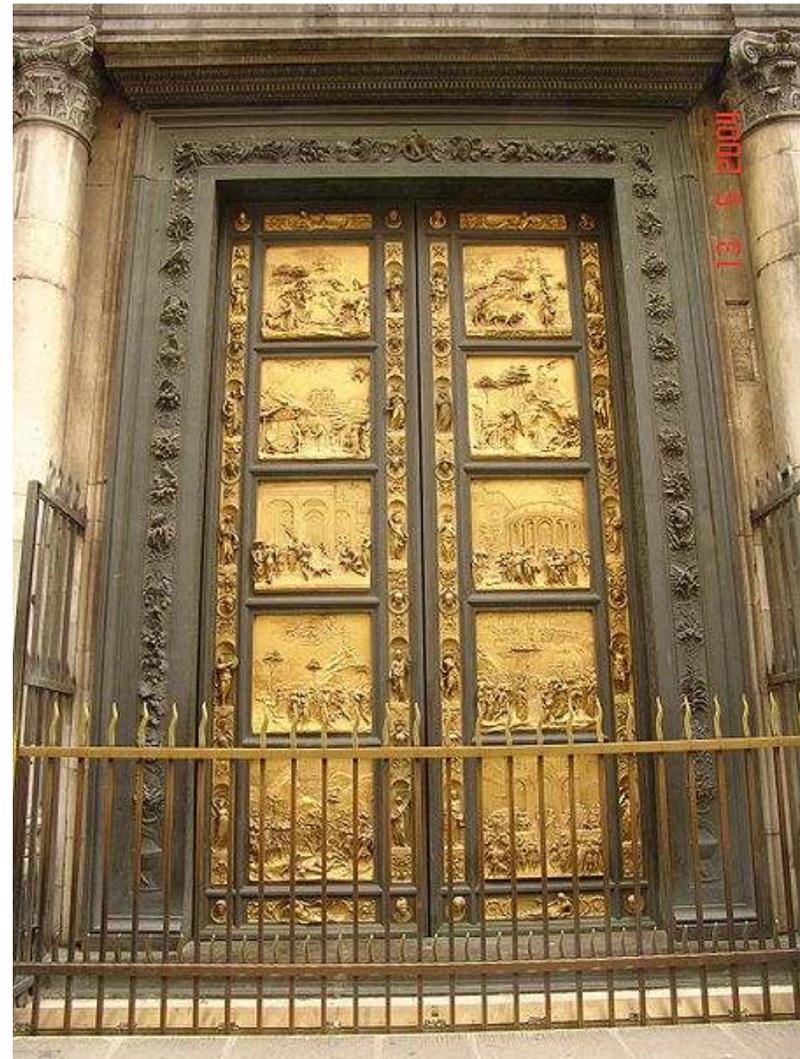
Trani - 1186

Troia (principale) - 1119

Troia (secondaria) - 1127

# Battistero di San Giovanni - Firenze



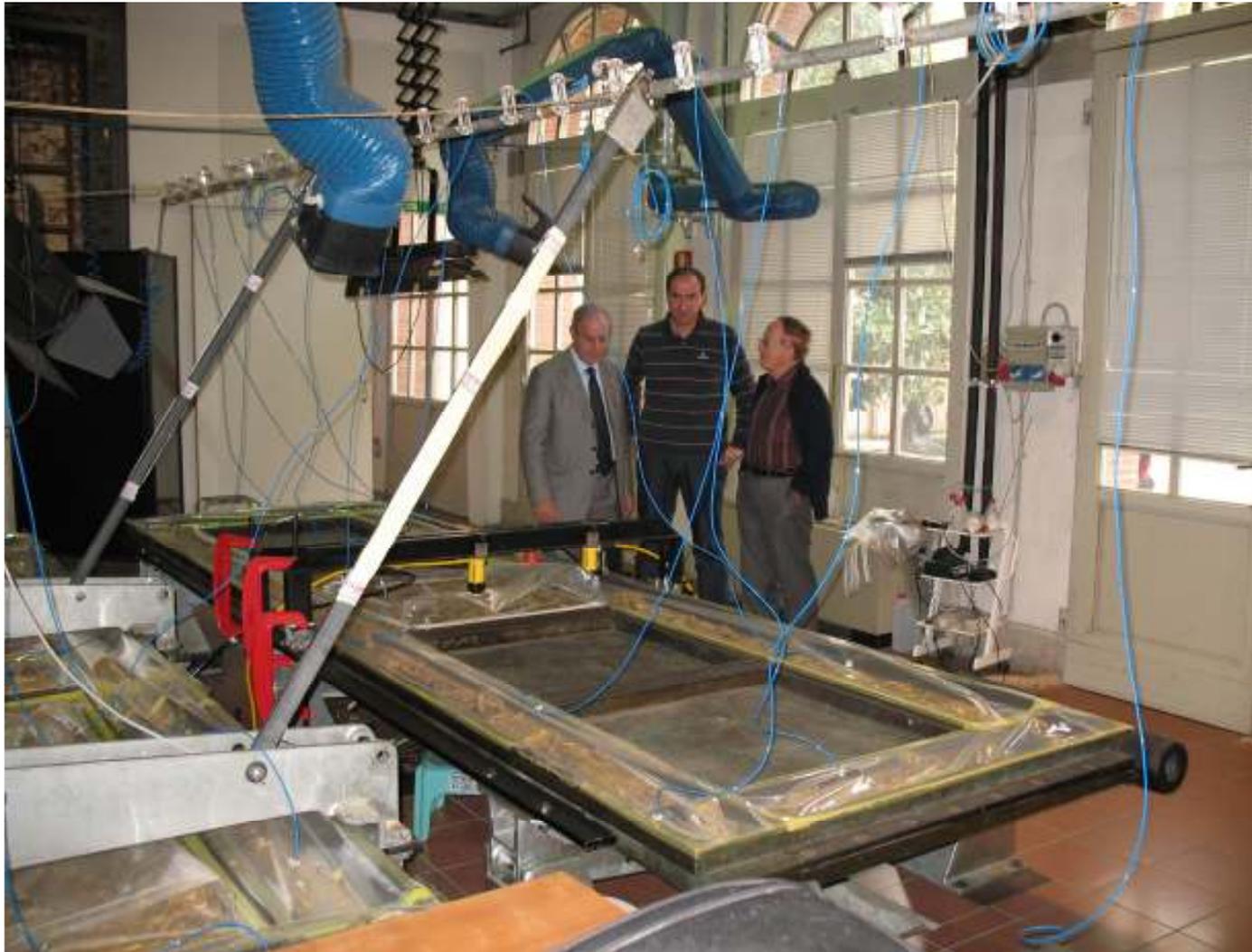


Porta del Paradiso – Firenze, Battistero di San Giovanni, porta est

Lorenzo Ghiberti, realizzata tra il 1426 e il 1452. Composta da 10 pannelli in bronzo ricoperti da amalgama d'oro. I riquadri riproducono scene dell'Antico Testamento. La porta originale attualmente è presso il "Museo dell'Opera del Duomo"

Scopo delle misure:

- Analisi della lega;
- Determinazione dello spessore del ricoprimento in oro.





Riquadro analizzato

“Abramo”

Regione	Spessore (µm)
1	1.8
2	1.6
3	1.4
4	2.6
5	--
6	--
7	--
8	--
9	4.5
10	3.5
11	4.4
12	1.1
13	2.9
14	2.0
15	--

# Le foglie d'oro nel '400 Fiorentino



Region	Total thickness (μm)	N. layers	Thickness (μm)
1	3.5	4	0.9
4	3.1	3	1.0
5	2.3	2	1.2
6	1.6	2	0.8
7	2.0	2	1.0
8	1.1	1	1.1
9	0.9	1	0.9
10	2.8	3	0.9
11	1.1	1	1.1

**LIVELLI DI RADON  
ALL'INTERNO DELLA  
GROTTA  
*ZINZULUSA, CASTRO (LE)***

**Alessandro Buccolieri<sup>1</sup>, Giovanni Buccolieri<sup>1</sup>,  
Alfredo Castellano<sup>1</sup>, Marta Cazzato<sup>1</sup>,  
Nini Ciccicarese<sup>2</sup>, Roberto Demitri<sup>1</sup> e Salvatore Romano<sup>1</sup>**

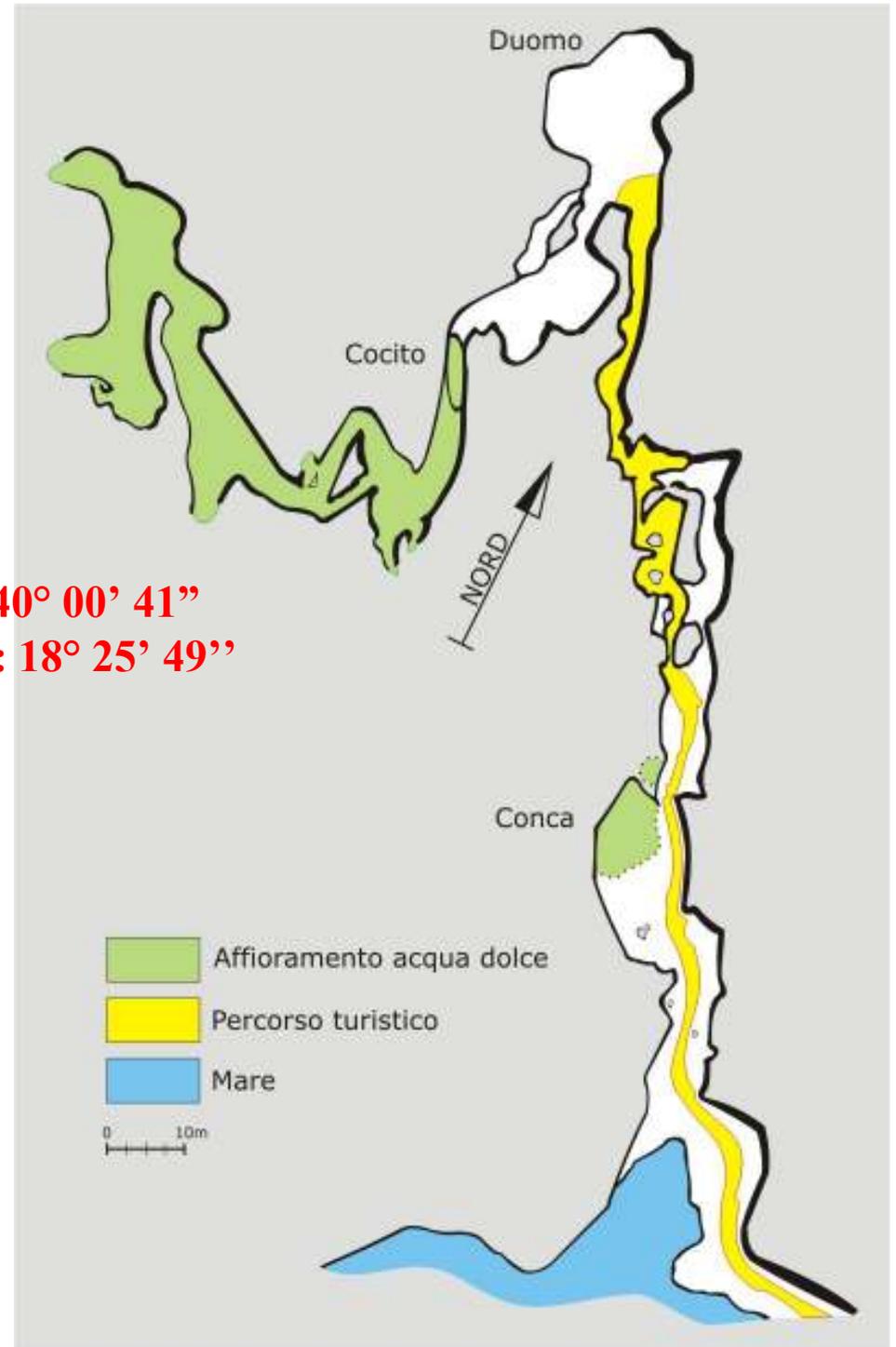
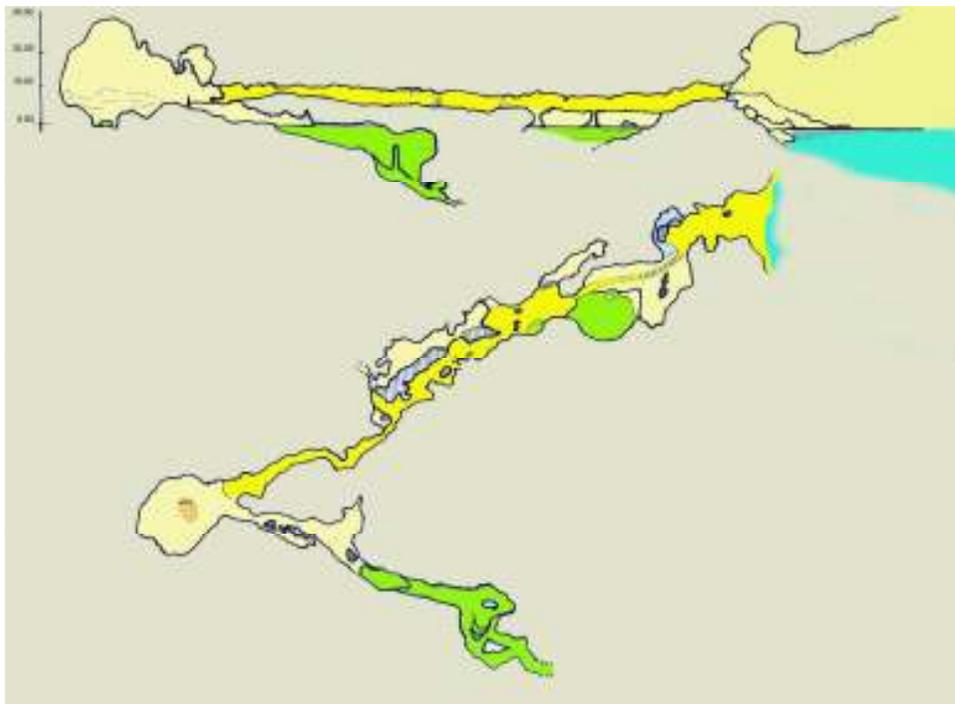
<sup>1</sup> Università del Salento, Dipartimento di Scienza dei Materiali, via Monteroni,  
73100, Lecce.

e-mail: [giovanni.buccolieri@unile.it](mailto:giovanni.buccolieri@unile.it)

<sup>2</sup> Gruppo Spereologico Salentino



**latitudine N: 40° 00' 41''**  
**longitudine E: 18° 25' 49''**





Originata a seguito dei fenomeni di erosione marina che interessarono l'intera Penisola Salentina durante il Pliocene (Tirreniano) e della successiva intensa attività carsica, grotta Zinzulusa ancora conserva al suo interno le tracce delle remote frequentazioni di animali ed uomini preistorici.

Attualmente, l'ambiente di grotta Zinzulusa s'impone all'attenzione in quanto grotta turistica di grande attrazione (**aperta al pubblico fin dagli anni 50**) e per la presenza, al suo interno, di un gran numero di specie animali, molte delle quali di rilevante interesse scientifico. La grotta riceve più di **100 mila visitatori l'anno** (Gestione Amm.ne Comunale di Castro).



Attualmente, l'ingresso in grotta Zinzulusa avviene mediante una **passerella, scavata nella roccia**, che costeggia il mare, al di sotto della imponente volta ad arco (larga più di 80 metri ed alta più di 40 metri) che costituisce l'avangrotta marino.



Dall'alto, simili ad enormi stracci appesi, pendono sul mare fitti fasci di stalattiti. Da questi ultimi sembrerebbe derivare il nome “Zinzulusa”, cioè “stracciona” nel dialetto locale.

Il percorso turistico interno si sviluppa per circa 150 metri, con poche brevi diramazioni, non percorribili dai visitatori. La prima parte del corridoio principale attraversa calcari dell'Eocene e la parte più profonda si sviluppa nei calcari del Cretaceo.

Sono da segnalare tre affioramenti interni della falda acquifera: i laghetti Conca e Cocito e la zona “paludosa” dello Stige.

Fu esplorata e segnalata per la prima volta nel 1793 da Mons. Francesco Antonio Duca, ultimo vescovo di Castro, **Matematico e Fisico**, membro corrispondente dell'Accademia di Francia e della Reale Accademia di Napoli .

Il Monsignore cercò di richiamare l'attenzione di Ferdinando IV, di Borbone (Re di Napoli e delle due Sicile) su grotta Zinzulusa che riteneva potesse essere un antichissimo tempio dedicato alla Dea Minerva

Fino ai primi anni del 900, esplorazioni, citazioni e descrizioni più o meno dettagliate, si devono a T. Monticelli (1807), G. Brocchi (1821), U. Botti (1870-1874), C. De Giorgi (1874) e A. Perotti (1904), quest'ultimo autore di una poetica descrizione della grotta:

...

*Dormi nel tuo mistero o Zinzulusa!*

*Noi lo tentammo questo tuo mistero  
con la religion di chi sospetta  
ch'oltre la realtà cominci il vero.*

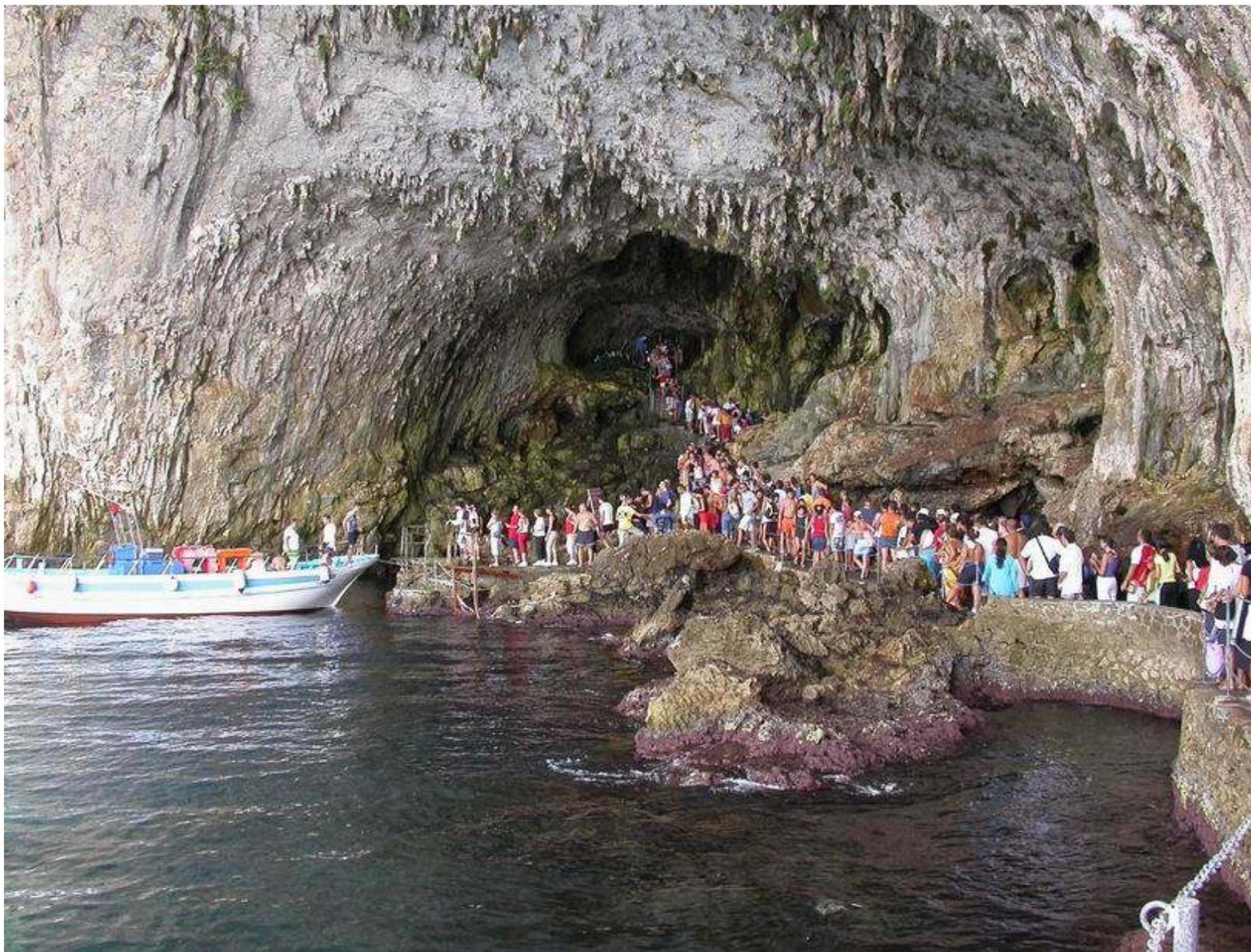
...

Molto più tardi a partire dal 1922 e sino al 1958, la grotta è stata oggetto di numerose visite ed esplorazioni a cui seguirono pubblicazioni scientifiche riguardanti i diversi aspetti, storici, geologici, etnologici e biologici (Bottazzi 1924, De Lorentiis 1924, Müller 1938, Parenzan 1938, Stammer 1938, Lazzari 1947, Ruffo 1947-'58, Anelli 1951, Pasa 1953, Cardini 1958, Blanc 1958).

Dati ambientali e geologici furono raccolti e pubblicati da F.Bottazzi, P.Parenzan e A.Lazzari.

A Ruffo, si deve, tra l'altro, la prima organica ed ancora attuale trattazione della fauna, sia terrestre che acquatica, della grotta (*Spelaeomysis bottazzii*, *Typhlocaris salentina*, *Hadzia minuta*, *Monodella stygicola*, *Mixtacandona stammeri*, *Nitocrella stammeri*, *Esola spelaea*, *Psyllocamptus monacus*, *Metacyclops subdolus*, *Metacyclops stammeri*), di antichissima origine (paleomediterranea) ed endemiche per la Zinzulusa o per la penisola Salentina.

Infine, nella primavera 1996, durante un'apposita campagna di esplorazione speleosubacquea, sono stati scoperti nuovi percorsi completamente sommersi, oltre il bacino del Cocito. Inoltre sono stati scoperti nella grotta anellidi policheti, l'anfipode *Salentinella gracillima*, il misidaceo *Stygiomysis hydruntina*, il copepode *Nitocra reducta* e, dato ancora più sorprendente, una nuova spugna troglobia *Higginsia ciccaresei* (Pansini & Pesce – 1998). Questi ultimi dati, oltre al loro indubbio valore scientifico, confermano l'eccezionale diversità biologica della grotta Zinzulusa.



La grotta rimane aperta al pubblico, mare permettendo, tutti i giorni dell'anno. La visita turistica alla parte interna della grotta viene effettuata con l'accompagnamento di guide e dura circa 15 minuti, oltre l'eventuale attesa.



# Radon

Sorgente di radioattività naturale

Gas nobile monoatomico, inodore, incolore, solubile in acqua e in liquidi organici

Tre isotopi radioattivi:

**Rn-222 (U-238)**  
**(Radon)**

**$T_{1/2} = 3.82$  giorni**

**Rn-220 (Th-232)**  
**(Thoron)**

**$T_{1/2} = 56$  s**

**Rn-219 (U-235)**  
**(Actinon)**

**$T_{1/2} = 4$  s**

Il decadimento dei radionuclidi naturali può avvenire con l'emissione di radiazioni alfa e/o di radiazioni beta, talvolta accompagnate da fotoni.

$^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  hanno vita media dell'ordine di  $10^{10}$  anni, sono presenti ovunque nella crosta terrestre e la loro abbondanza varia a seconda delle rocce:

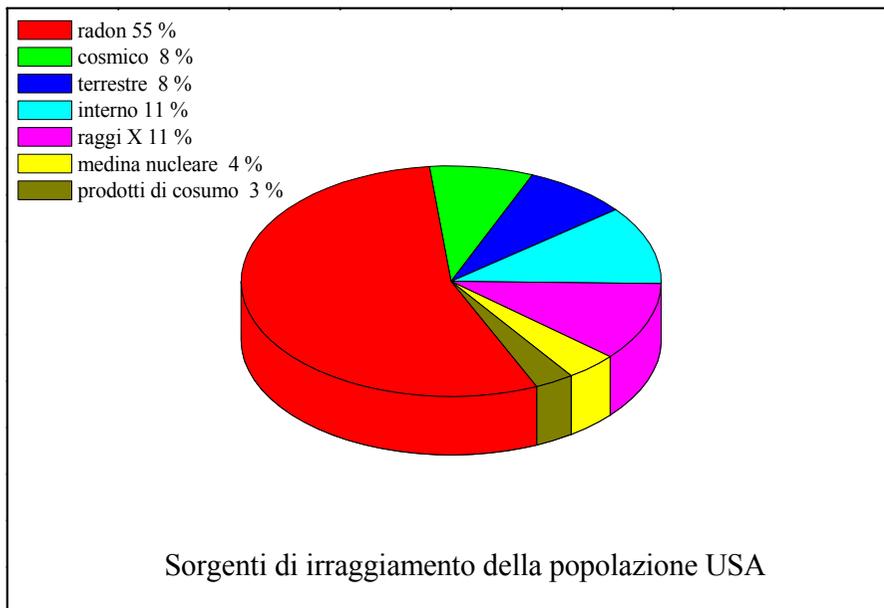
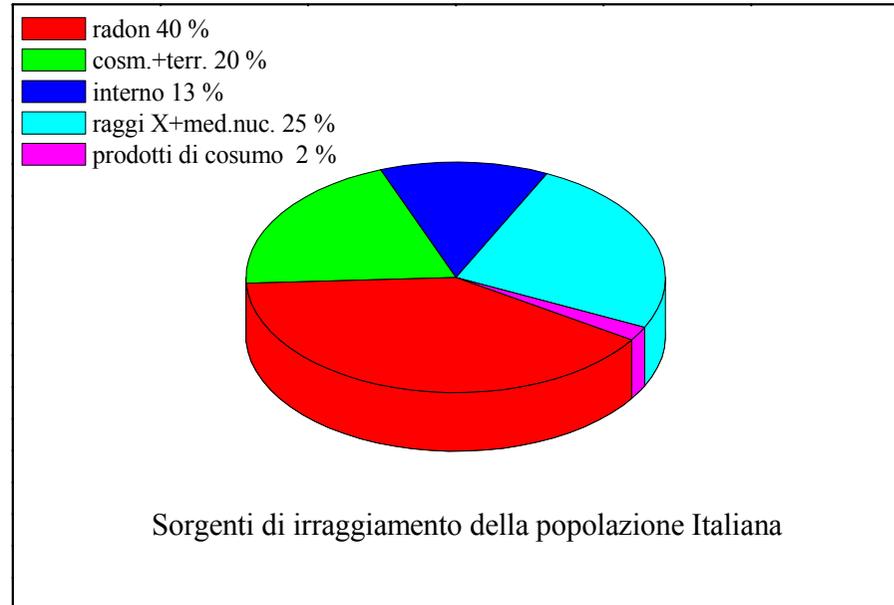
~ 80 ÷ 100 Bq/kg nelle rocce ignee;

~ 40 ÷ 50 Bq/kg nelle rocce sedimentarie.

La concentrazione media dell'U-238 nella crosta terrestre continentale è 50 Bq/kg

La concentrazione media degli isotopi del Rn è 40 Bq/kg (10 ÷ 200 Bq/kg )

# Sorgenti d'irraggiamento



# Normative vigenti

La normativa italiana (Decreto Legislativo del 26/05/00, n.241) ha stabilito un livello di riferimento per l'esposizione al Rn, in aria, negli ambienti di lavoro di 500 Bq/m<sup>3</sup> (corrispondenti a 3 mSv/anno di dose).

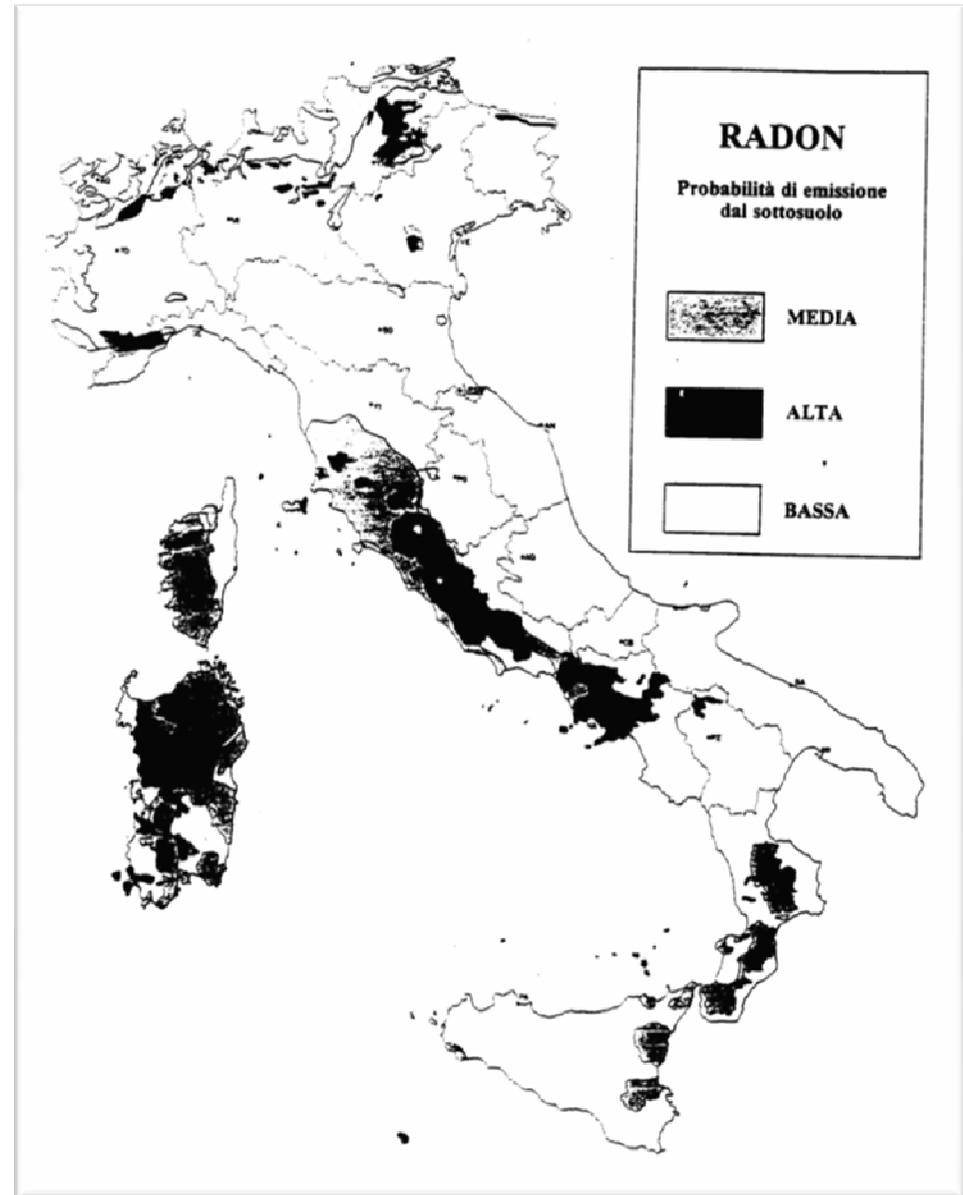
Per quanto riguarda le concentrazioni di Radon in acqua, non esiste in Italia una normativa specifica.

Per il controllo del Radon nelle acque esiste una raccomandazione della commissione europea EURATOM, notificata nel dicembre del 2001, che riguarda *la tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile*.

## ***Tipici valori :***

- Nelle acque di superficie le concentrazioni di Radon sono molto basse e inferiori a 1 Bq/L (27 pCi/L);
- Nelle acque freatiche provenienti da falde acquifere di rocce sedimentarie le concentrazioni di Radon variano da 1 a 50 Bq/L (27 ÷ 1350 pCi/L);
- Nelle acque freatiche provenienti da falde acquifere di roccia cristallina le concentrazioni di Radon variano da 100 a 50000 Bq/L (2700 ÷ 1.35 × 10<sup>6</sup> pCi/L)

# Il Radon in Italia



Mappa della probabilità di emissione del gas radon dal sottosuolo del territorio nazionale italiano.

# Strumentazione utilizzata

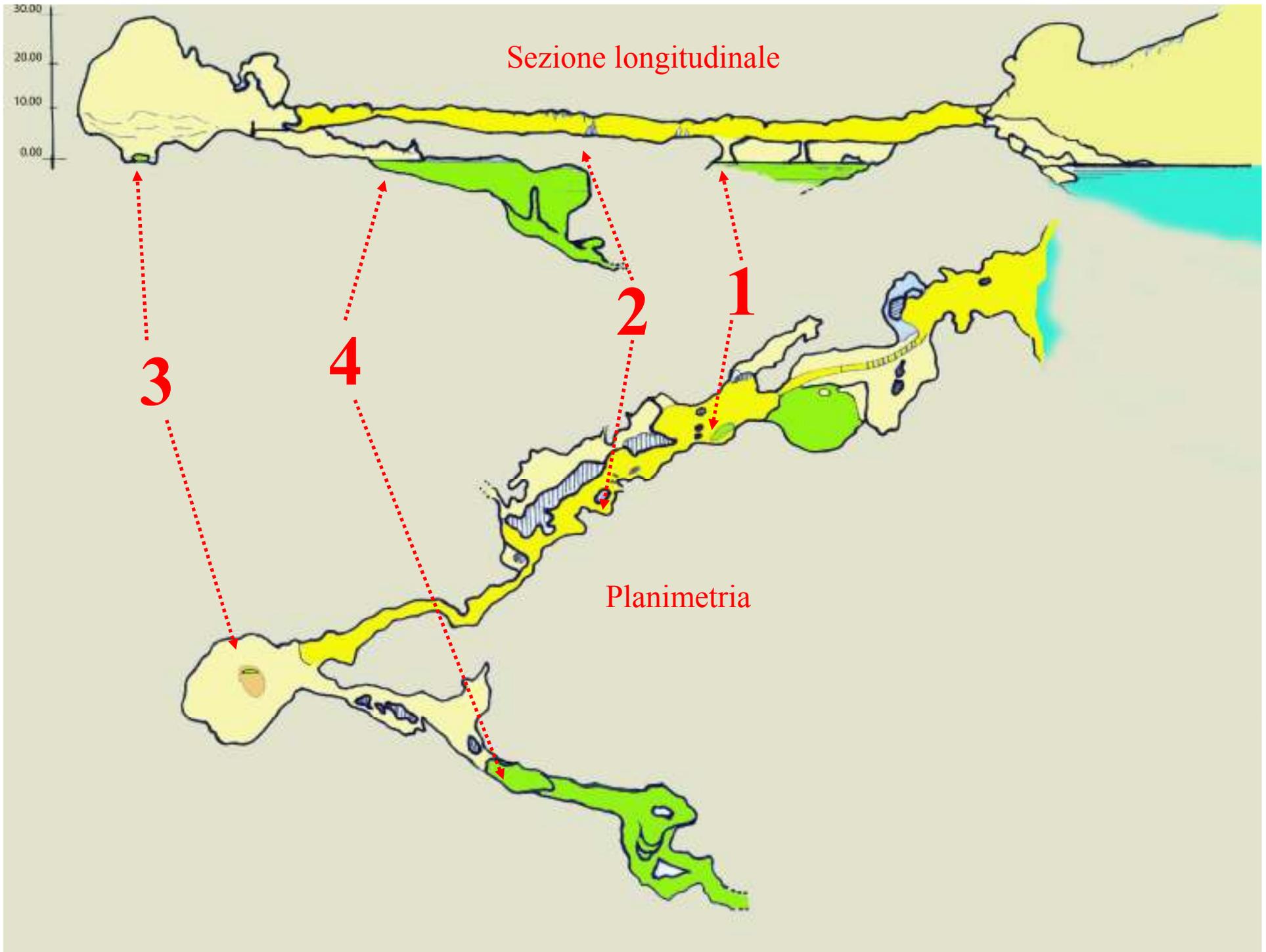


La misura della concentrazione di radon in aria è stata effettuata mediante il rivelatore elettronico prodotto dalla DURRIDGE Company modello RAD7.

Rivelatore al silicio

Range dinamico:  $4 \div 400000 \text{ Bq/m}^3$

Principio di funzionamento: accumulazione elettrostatica degli alfa-emettitori con analisi spettrale.





*Durante le mesure .....*



<b>Postazione</b>	<b><math>^{222}\text{Rn}</math> in aria (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>^{222}\text{Rn}</math> in acqua (pCi/L)</b>
1	280±50	60±20
2	540±90	---
3	1280±110	170±30
4	860±90	160±30

## Sicurezza per persone del pubblico e addetti ai lavori:

- Il livello di azione per le persone del pubblico è fissato in 0.3 mSv/anno di dose;
- Il livello di azione per gli addetti ai lavoro è fissato in 3 mSv/anno di dose.

Il fattore convenzionale di conversione è fissato in  $3 \cdot 10^{-9}$  Sv di dose efficace per unità di esposizione espressa in Bq h m<sup>-3</sup>.

Un ambiente a 500 Bq/m<sup>3</sup> frequentato per 2000 h lavorative produce una dose efficace pari a:

$$500 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \cdot 2000 \text{ h} \cdot 3 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Sv}}{\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \text{ h}} = 3 \text{ mSv}$$

# Conclusioni

## Per i visitatori:

Permangono in grotta al più 15 minuti

Nelle condizioni peggiori (15 minuti nel Cocito) la dose è pari a  $10^{-3}$  mSv

## Per le guide:

Si raggiunge la dose di 3 mSv restando nel Cocito per 780 ore anno, ossia 65 ore al mese.

Nel mese di massima affluenza (agosto) ogni guida entra in grotta tra le 5 e le 10 volte al giorno passando nel Cocito circa 5 minuti per un totale di ore compreso tra 11 e 22.

**TECNICHE FISICHE NON-DISTRUTTIVE NEL  
RESTAURO DEL RILIEVO IN CARTAPESTA  
“MADONNA COL BAMBINO” DI JACOPO  
SANSOVINO**

Giovanni Buccolieri<sup>1</sup>, Francesco Adduci<sup>2</sup>, Alessandro Buccolieri<sup>1</sup>,  
Federica Carnevale<sup>1</sup>, Raffaele Casciaro<sup>3</sup>, Alfredo Castellano<sup>1</sup>, Davide Melica<sup>4</sup>, Lidiana  
Miotto<sup>5</sup>, Piero Quarta Colosso<sup>6</sup>

1 Università del Salento, Dip. di Scienza dei Materiali, via per Monteroni, 73100, Lecce E-mail: [giovanni.buccolieri@unile.it](mailto:giovanni.buccolieri@unile.it)

2 Università di Bari, Dip. di Fisica, via Amendola n. 173, 70125, Bari

3 Università del Salento, Dip. dei Beni delle Arti e della Storia, viale S. Nicola, 73100, Lecce

4 Libero professionista, via Ciardo n. 3, 73100, Lecce

5 Centro Restauro Materiale Cartaceo, via Roberto Caracciolo n. 6, 73100, Lecce

6 Studio Radiologico Quarta Colosso, via Turati n. 15, 73100, Lecce

Un rilievo in cartapesta raffigurante una “Madonna col Bambino” (cartapesta macerata su tela, supporto ligneo 131x98 cm e 8.5 cm spessore) del Museo Nazionale di Belle Arti di Budapest è stato sottoposto a un intervento di restauro nel laboratorio del Museo Provinciale di Lecce a cura della dottoressa Lidiana Miotto dall’Ottobre al Dicembre 2007. Si tratta di un importante testimonianza dell’attività di Jacopo Tatti detto il Sansovino (Firenze 1486 - Venezia 1570), scultore e architetto nato a Firenze, ma attivo anche a Roma e a Venezia nella prima metà del XVI secolo.

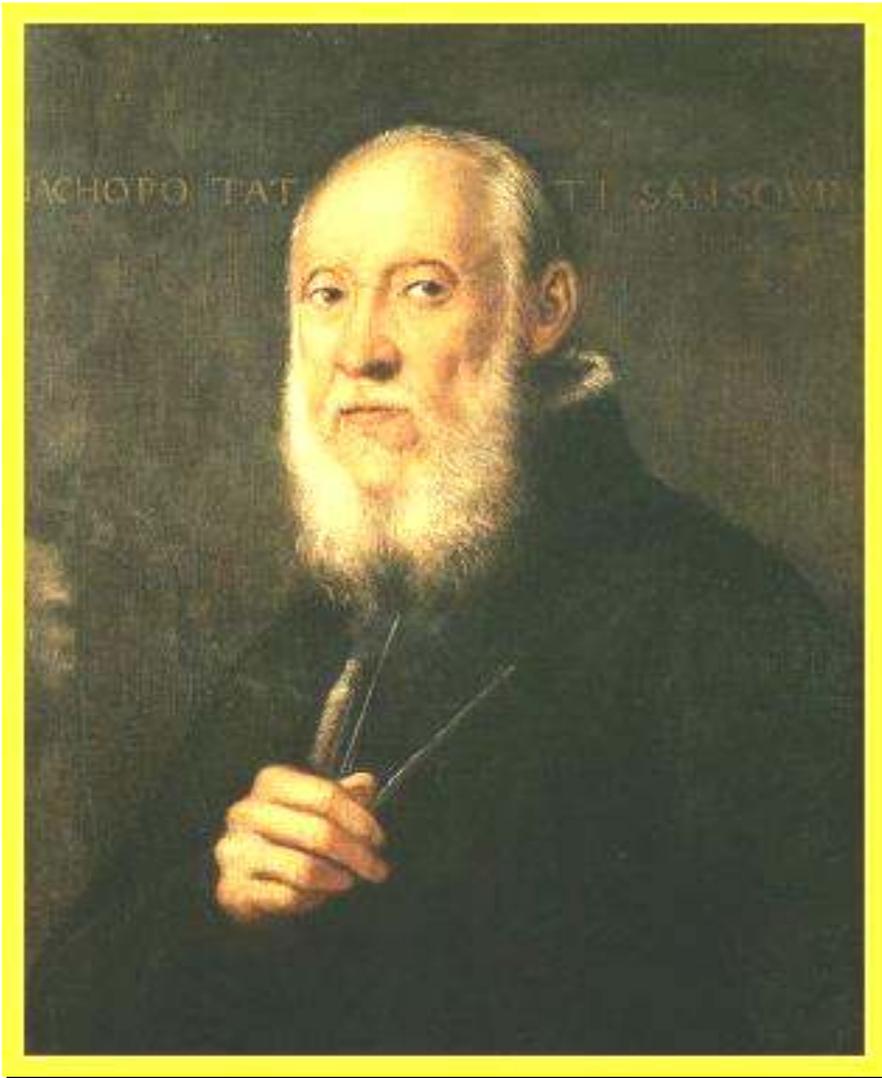
In questo lavoro saranno illustrati i risultati sperimentali delle analisi archeometriche e radiografiche eseguite in occasione del restauro, le quali forniscono importanti notizie sia **sulle procedure esecutive impiegate dall’artista per la realizzazione** che relative a **successivi restauri**. Inoltre sono state eseguite, prima, durante e dopo il restauro, anche diverse analisi in fluorescenza a raggi X in dispersione di energia e su microcampionamenti sono state eseguite analisi in microscopia ottica, microscopia elettronica, spettroscopia infrarossa micro FT-IR e diffrazione a raggi X.





**Firenze, 1486**

**Venezia, 1570**

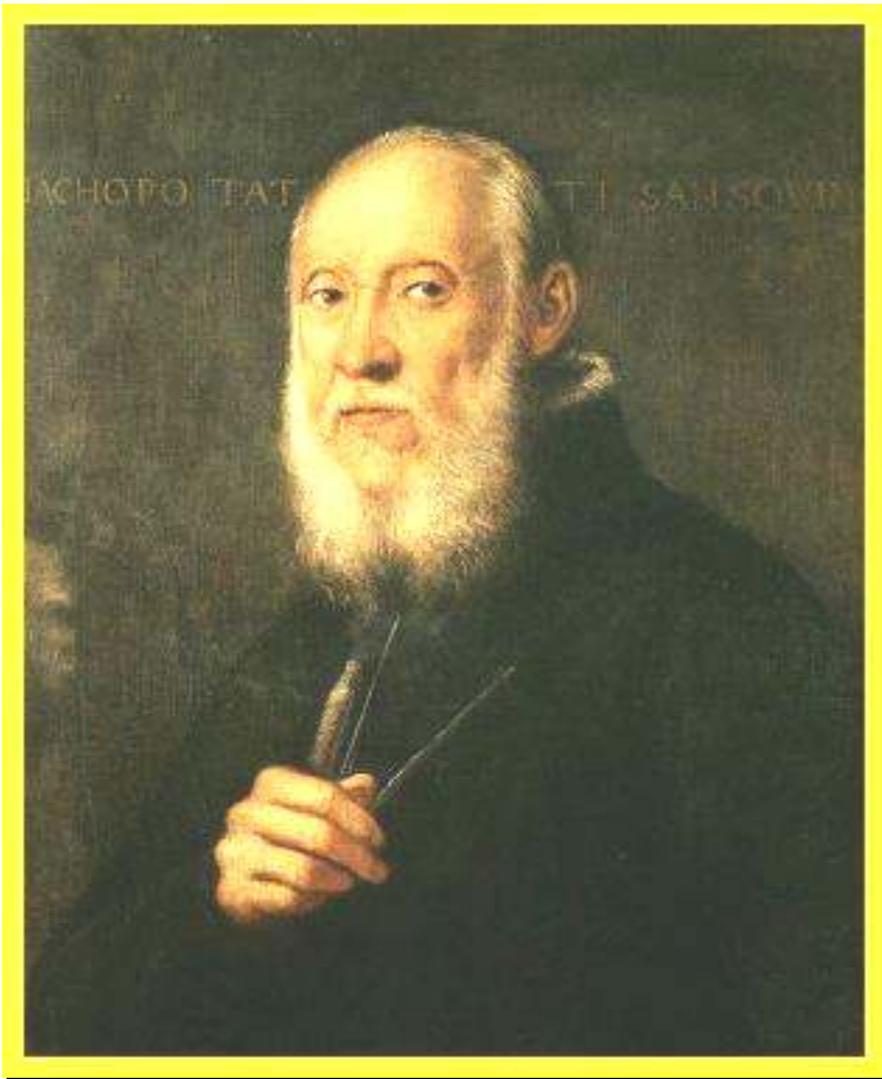


*“... ogni suo schizzo, o segno, o bozza ha sempre avuto una movenza e fierezza che a pochi scoltori suole porgere la natura ...”*

**Vasari**



**Madonna del parto – Roma, 1518**

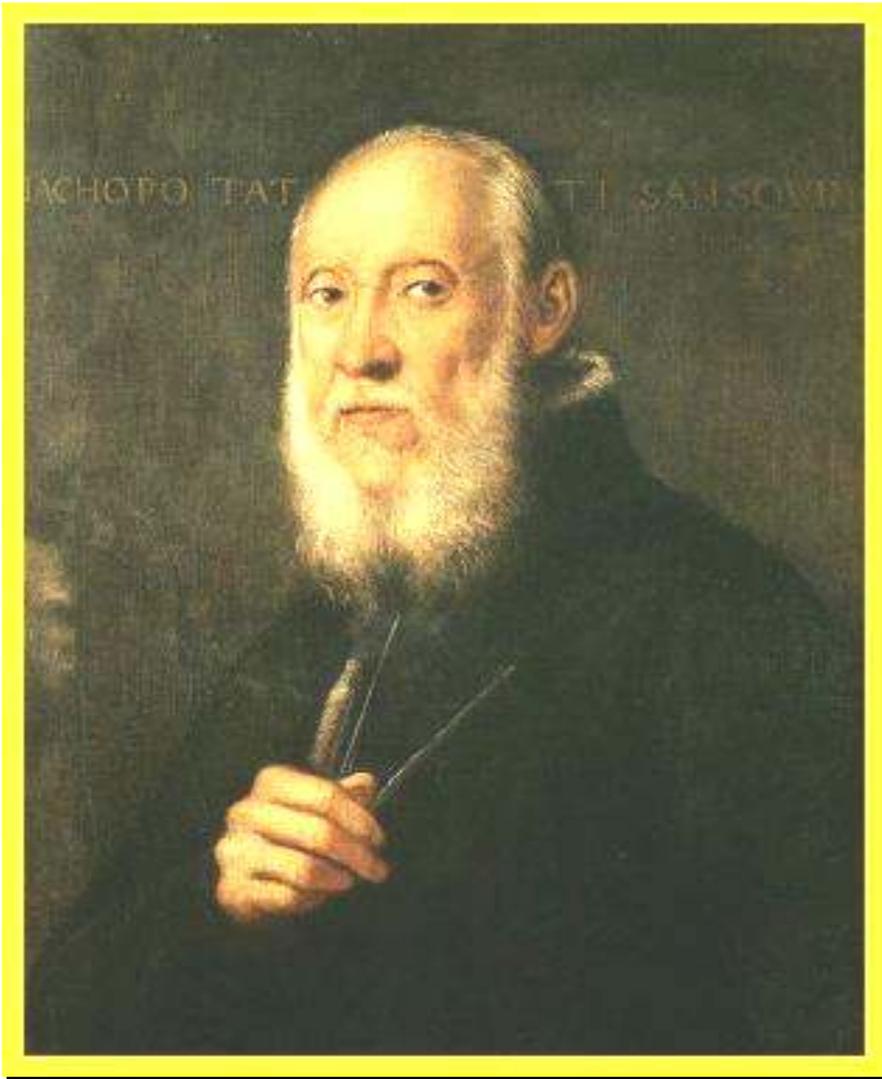


*“... ogni suo schizzo, o segno, o bozza ha sempre avuto una movenza e fierezza che a pochi scoltori suole porgere la natura ...”*

**Vasari**



**Loggetta p.zza S. Marco  
Venezia, 1536-1560**

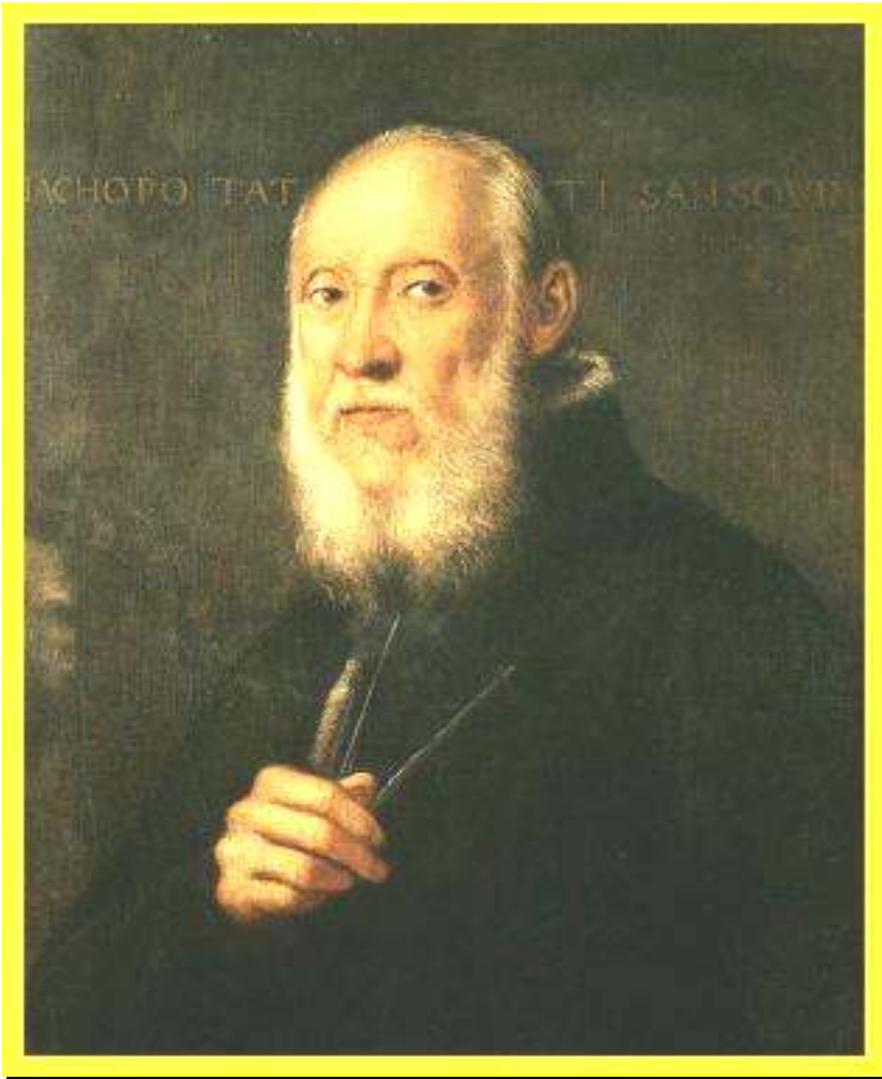


*“... ogni suo schizzo, o segno, o bozza ha sempre avuto una movenza e fierezza che a pochi scoltori suole porgere la natura ...”*

**Vasari**



**Libreria Marciana  
Venezia, 1536-1560**



*“... ogni suo schizzo, o segno, o bozza ha sempre avuto una movenza e fierezza che a pochi scoltori suole porgere la natura ...”*

**Vasari**



**Palazzo Corner**  
**Venezia, 1533-1566**

Del Sansovino sono noti due diversi modelli di “Madonna col Bambino” in cartapesta:

- uno dei quali risale al prototipo firmato dal maestro conservato nel Museo del Cenedese di Vittorio Veneto e noto in una quindicina di repliche sparse in diversi musei in Italia e all'estero;

- l'altro modello (tipo Pardelfell), cronologicamente precedente al primo, è invece noto soltanto in due versioni, quella in esame e quella del Bodemuseum di Berlino. Eseguiti entrambi a Venezia, in un torno di tempo compreso tra il 1520 e il 1530, i rilievi sono realizzati in tela ricoperta da uno strato di cartapesta macerata e fissati con chiodi ad un supporto di tavole di legno.

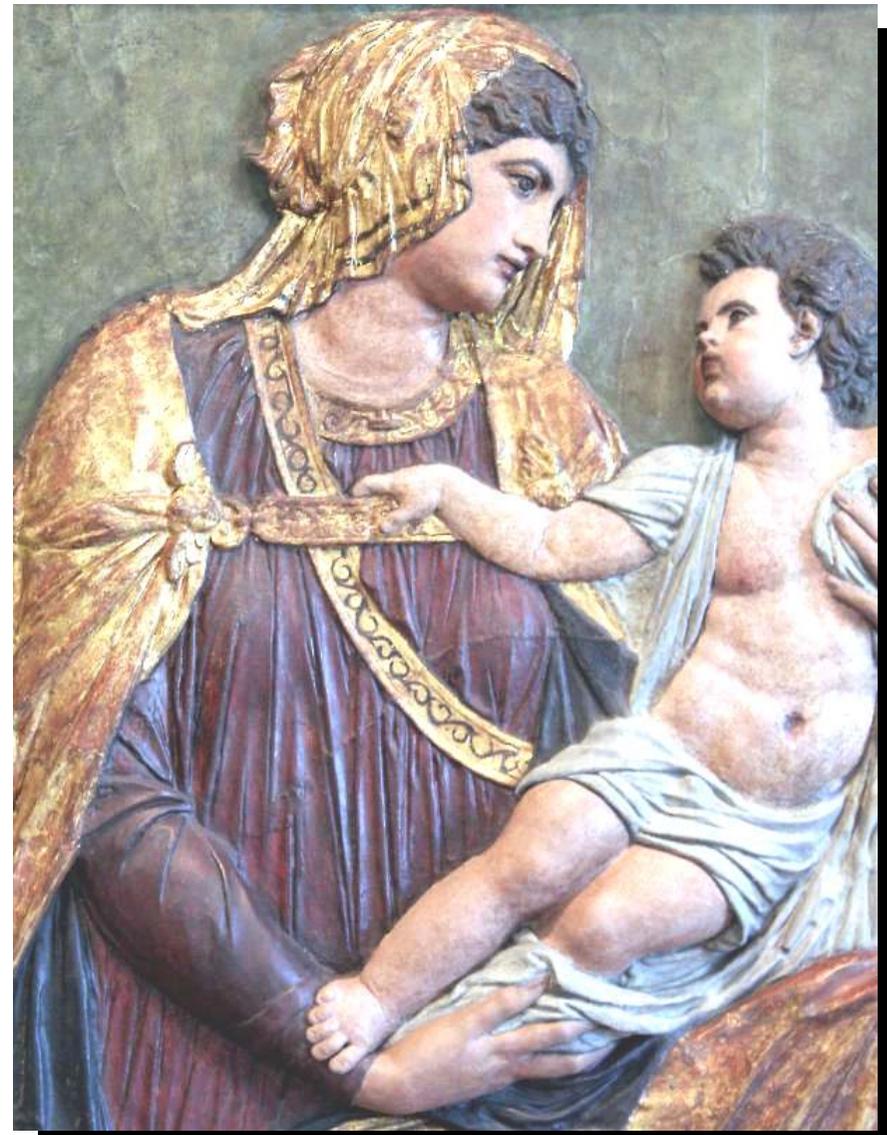
Jacopo Sansovino regalò un'opera in cartapesta a Pietro Aretino, che, a sua volta ne fece dono a Vittoria Farnese, la quale ne fu entusiasta.

L'Aretino così ne informa l'autore in una lettera:” *Il gran quadro di basso rilievo e di marmorea durezza composto, per volerlo sollevare fino al cielo con la lode, basta dir che da la mano di messer Iacopo ci venga...L'Illustrissima Vittoria Farnese...mi scrive che né in Roma né altrove mai se n'è visto un sì bello*” (P. Aretino, *Lettere*).

La notazione “*di marmorea durezza composto*” è messa in risalto per elogiare la riuscita mimesi della cartapesta nel marmo.

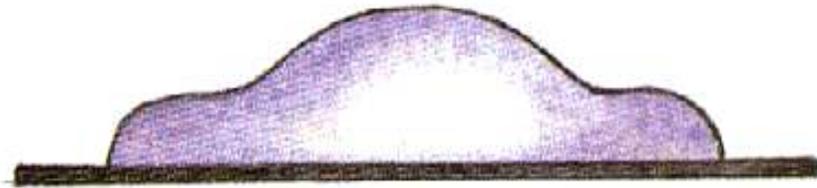


**Madonna tipo Pardelfell**

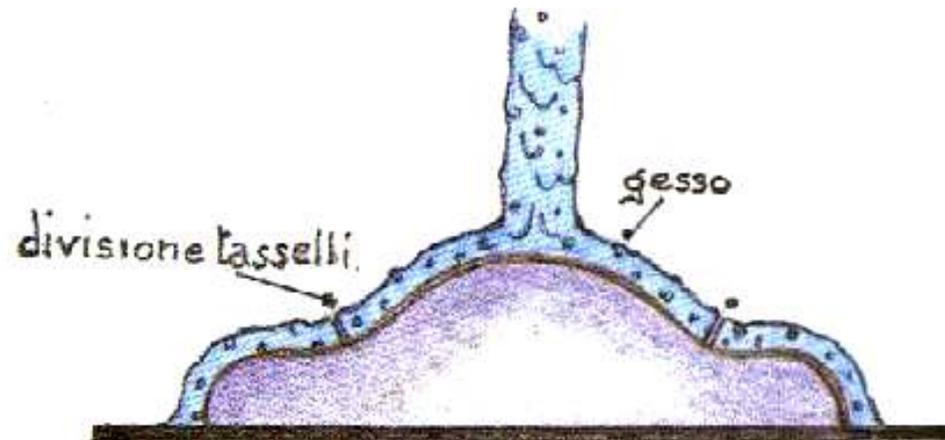


**Madonna tipo Vittorio  
Veneto**

# La Cartapesta



*forma positiva*

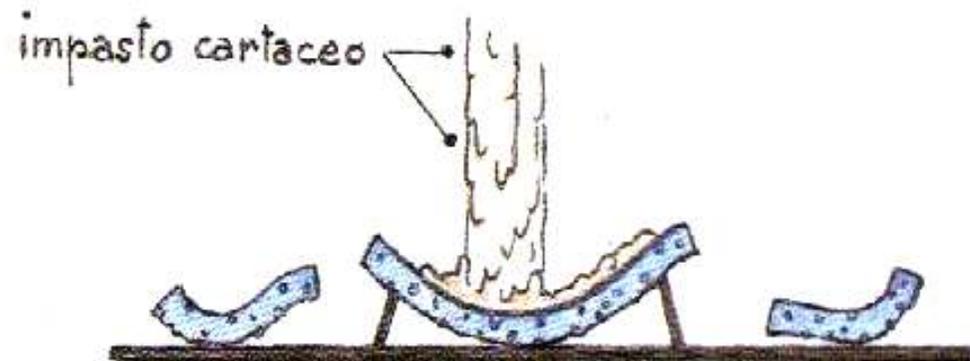


*realizzazione del calco o matrice*

# La Cartapesta



*matrice in gesso*

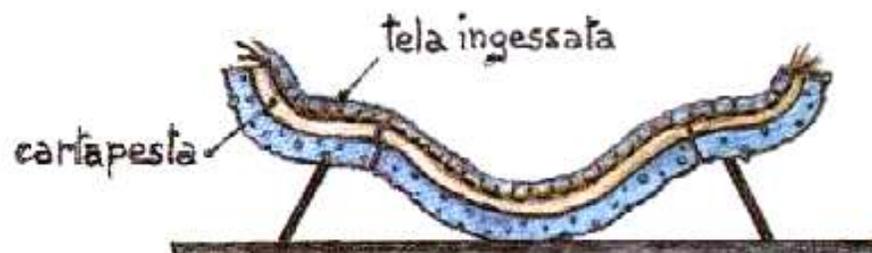


*preparazione calco in cartapesta*

# La Cartapesta

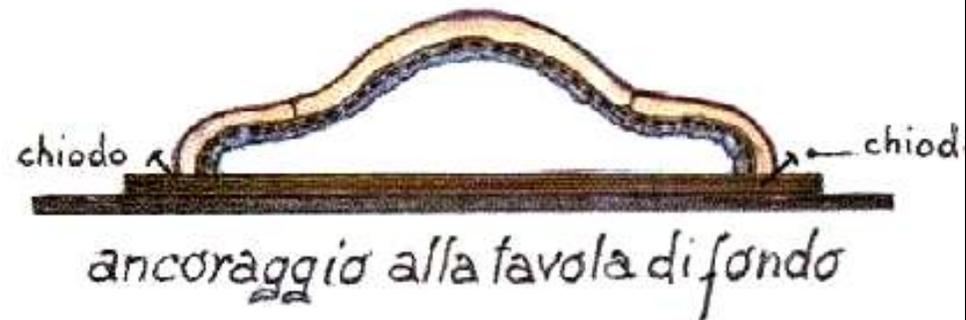


*applicazione tela di rinforzo*



*calco completo*

# La Cartapesta



# La Cartapesta



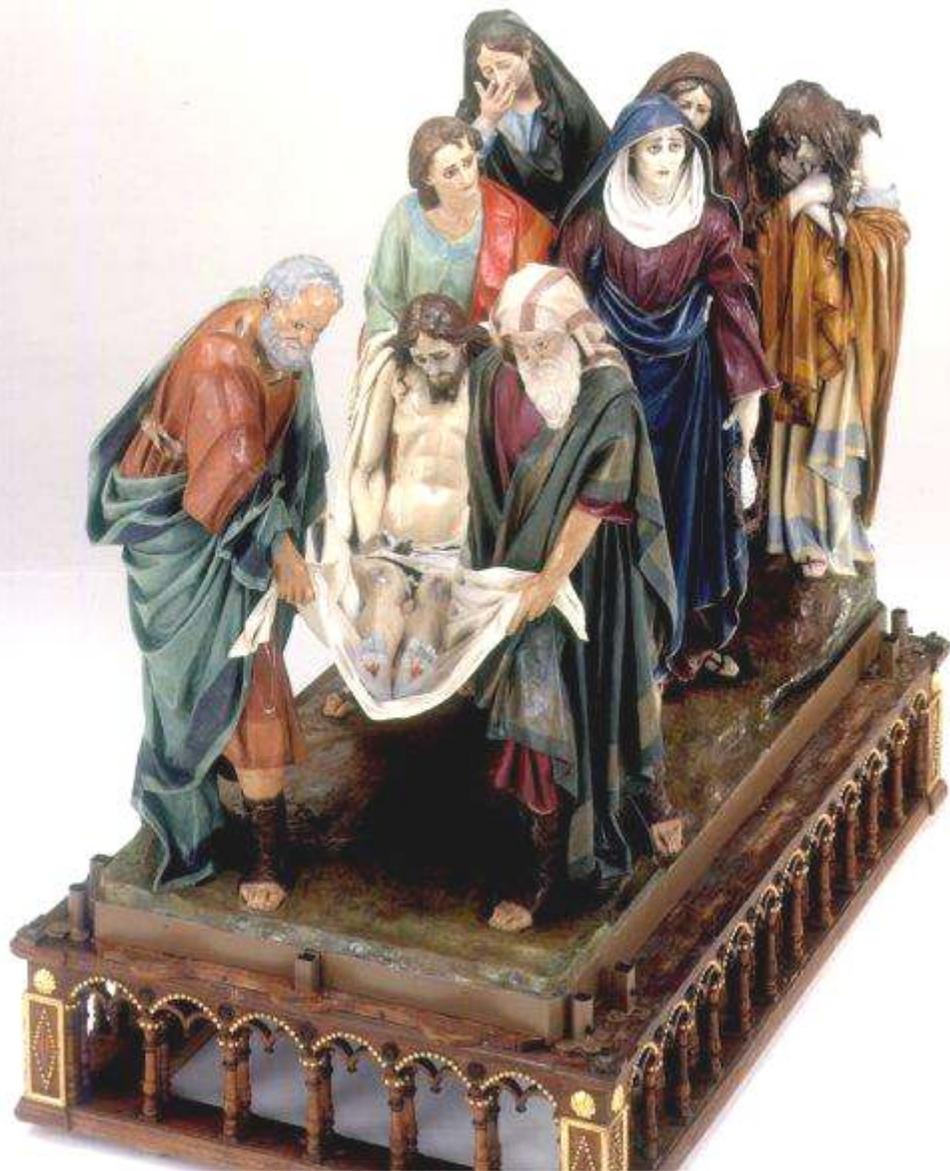
***Ogni sorta di rottami di carta, tenuti per più giorni in macero in acqua chiara, poi benissimo pesti in mortaio, tanto che la macera carta sia ridotta quasi come un unguento. Con questa si fanno le maschere che si adoperano a Carnevale, e ogni sorta di figure, d'intero e non intero rilievo***

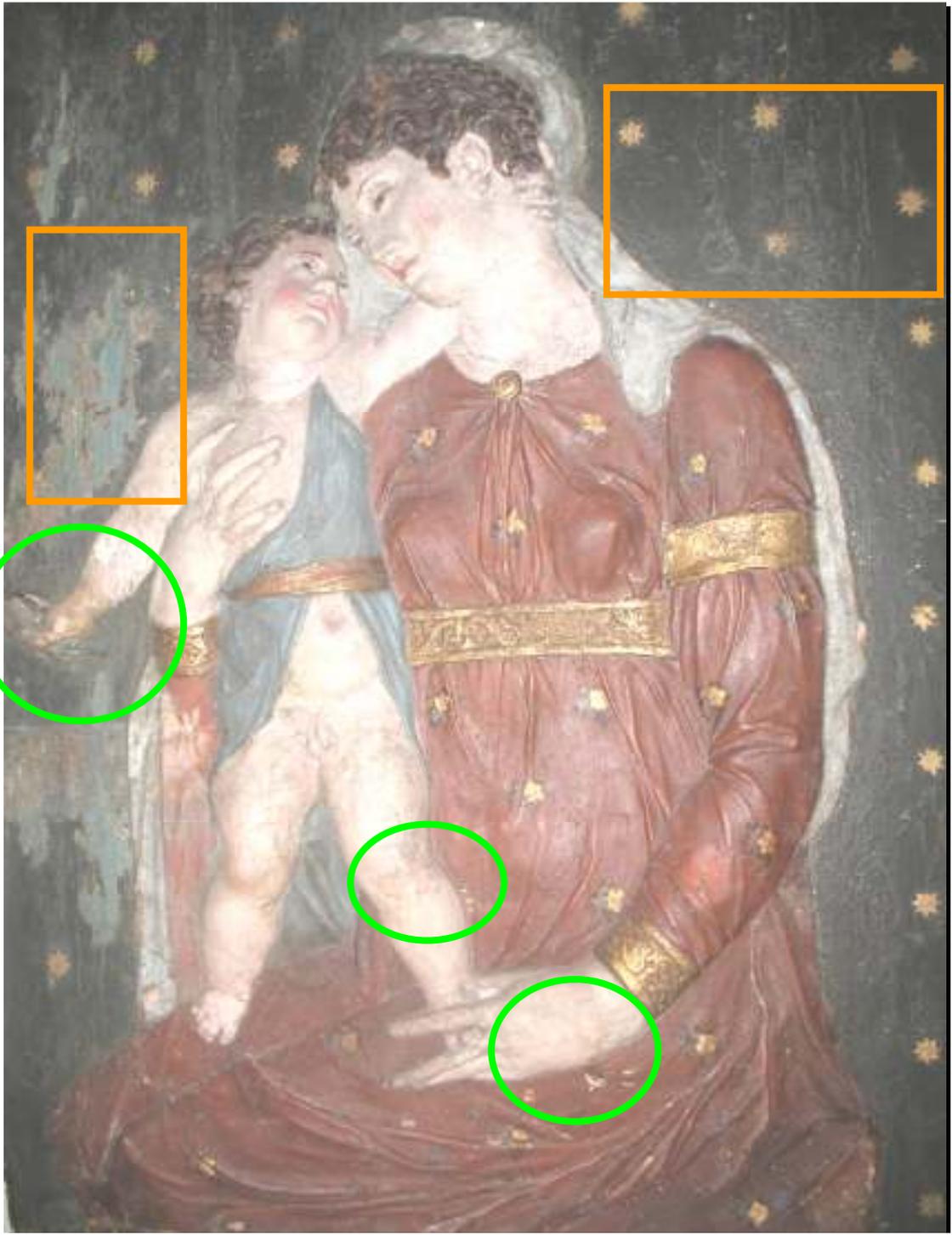


**F. Baldinucci, 1681**



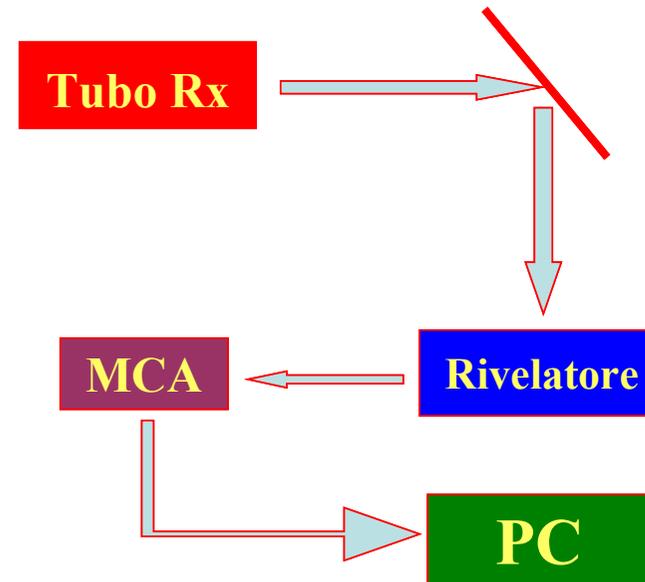
# La Cartapesta leccese





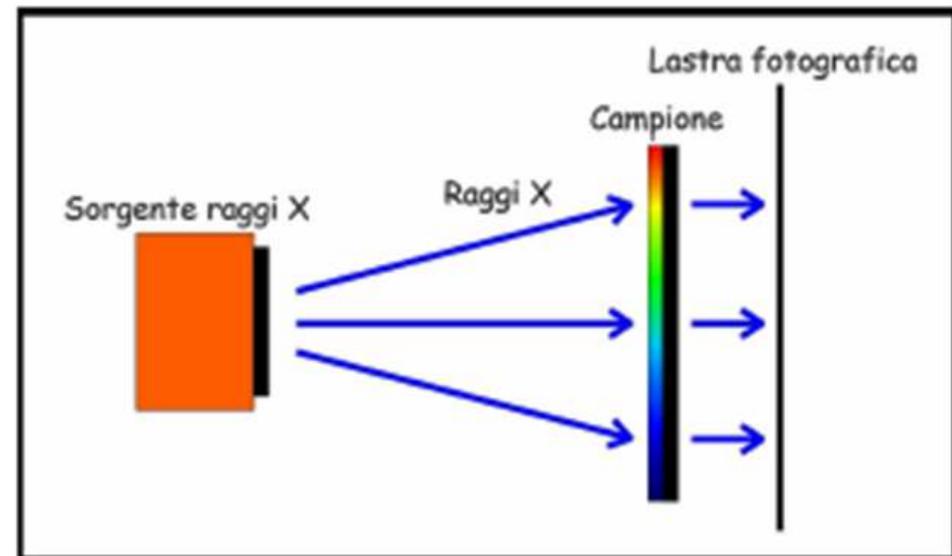
## Fluorescenza EDXRF:

- Riconoscimento elementi chimici dei pigmenti usati dall'artista



## Radiografia:

- Riconoscimento materiali diversi



# Risultati sperimentali

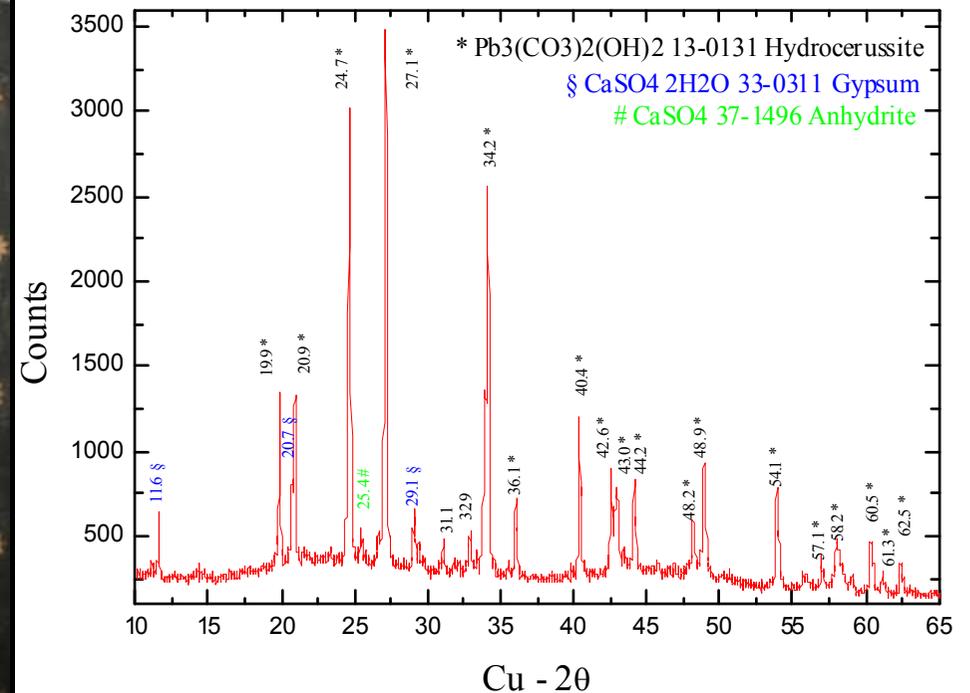
## Sono state analizzate 43 regioni



La presenza di Pb su tutte le regioni indagate fa supporre che l'artista abbia impiegato bianco di Biacca come imprimitura.

Le polveri rimosse durante le puliture sono state raccolte ed analizzate in diffrazione a raggi X al fine di determinare i principali composti costituenti le polveri. Le misure hanno confermato la presenza di biacca, gesso e tracce di anidrite.

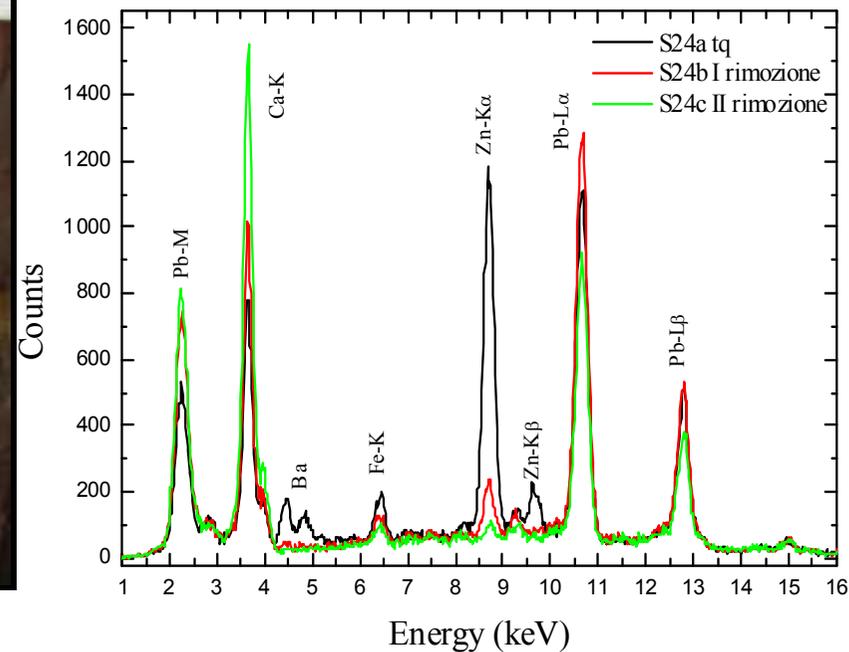
Polvere



# INCARNATI



Mano sx Madonna



	Ca	Ba	Fe	Zn	Pb
24a	II	III	Tr	II	I
24b	II	Tr	Tr	III	I
24c	I		Tr	Tr	II

## LEGENDA

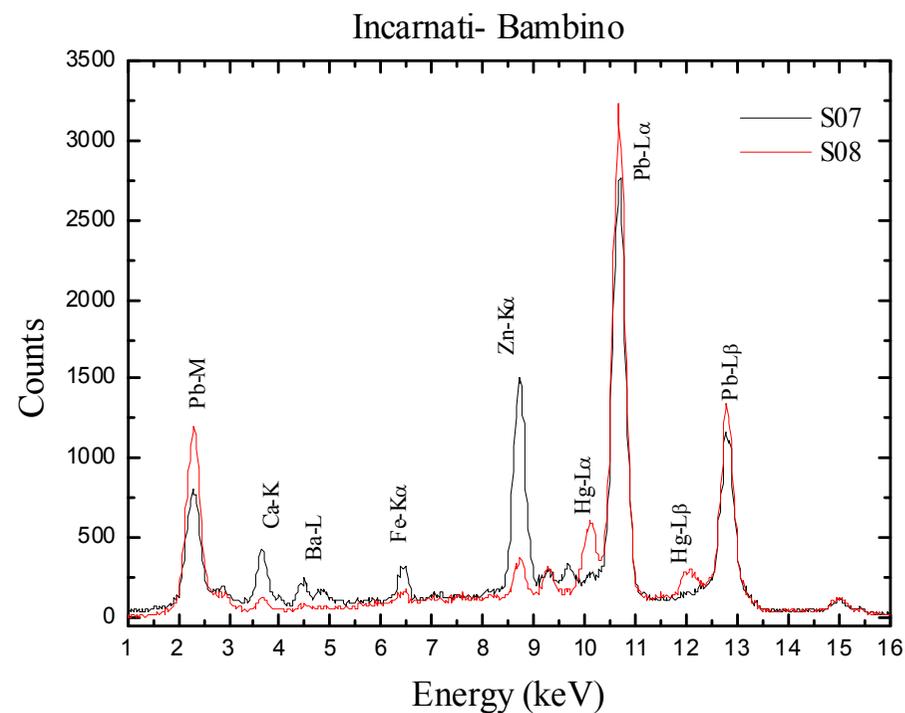
I: elemento maggioritario

II: elemento secondario

III: elemento minoritario

Tr: elemento in tracce

# INCARNATI



	Ca	Ba	Fe	Zn	Pb	Hg
07	III	Tr	Tr	II	I	
08				Tr	I	III

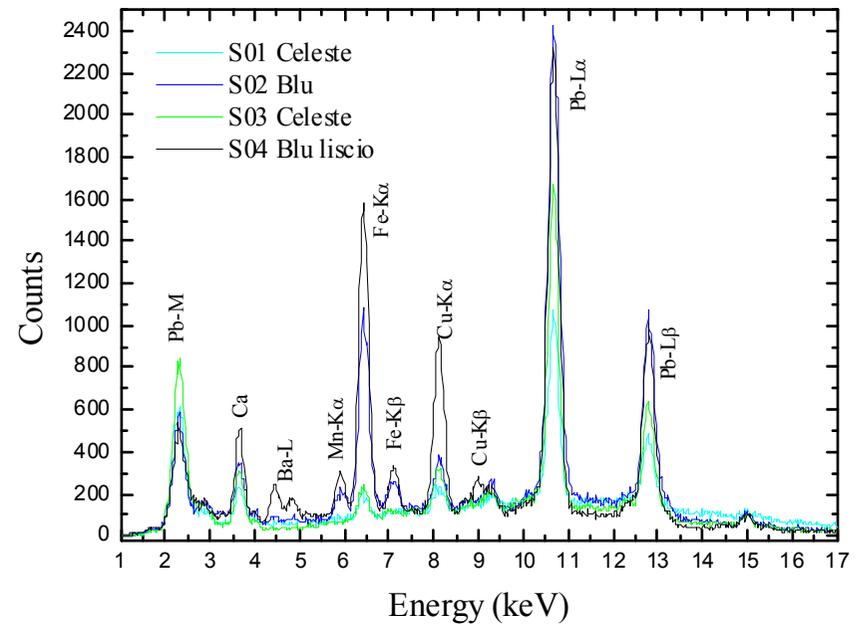
Sulla base delle evidenze sperimentali si è ipotizzato che l'artista abbia utilizzato, per gli incarnati, bianco di biacca e bianco San Giovanni ( $\text{CaCO}_3$ ) mescolati con modeste quantità di terra rossa resa evidente dalla presenza di tracce di Fe o cinabro ( $\text{HgS}$ ).

# BLU-CELESTE

Il blu scuro utilizzato come sfondo è caratterizzato dalla presenza di Pb e Fe come elementi principali: il segnale del Pb è probabilmente dovuto all'imprimitura mentre il Fe potrebbe indicare la presenza di blu di prussia ( $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).



Fondo (Blu e Celeste)

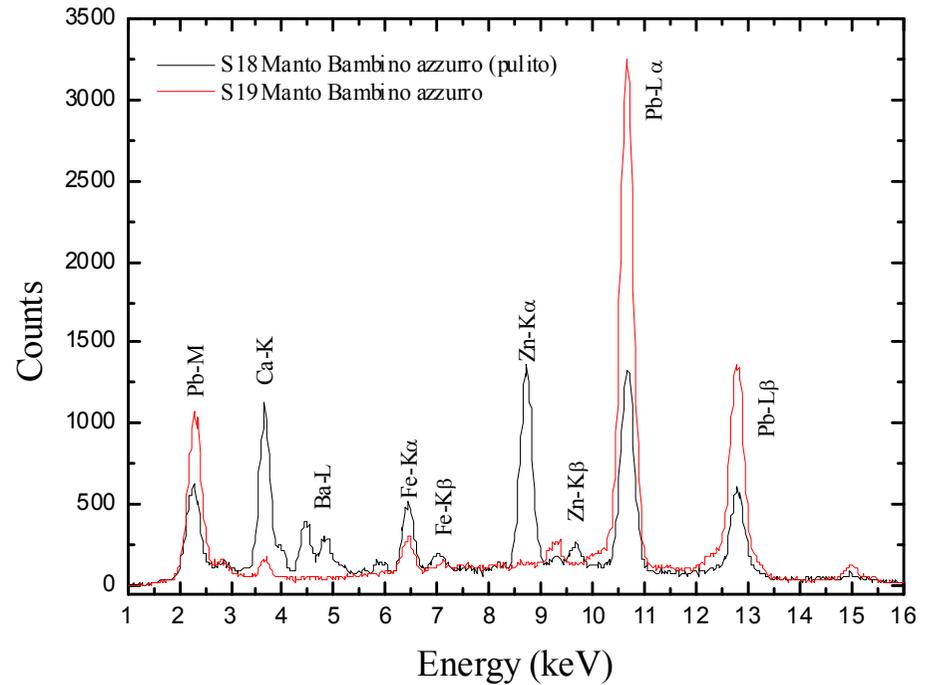


	Ca	Ba	Mn	Fe	Cu	Pb
01	III			Tr	Tr	I
02	III		Tr	II	III	I
03	III			Tr	III	I
04	II	III	III	II	II	I

Nella regione 4 è stato evidenziato Cu, Ba e Mn: la presenza di questi elementi, distribuiti non uniformemente, provano che lo sfondo ha subito, nel corso degli anni, diversi rifacimenti.

# BLU-CELESTE

Il celeste del manto del Bambino manifesta la presenza di Pb (imprimatura) e Fe dovuto probabilmente alla presenza di blu di prussia.



	Ca	Ba	Fe	Zn	Pb
18	II	III	III	I	II
19	Tr		Tr		I

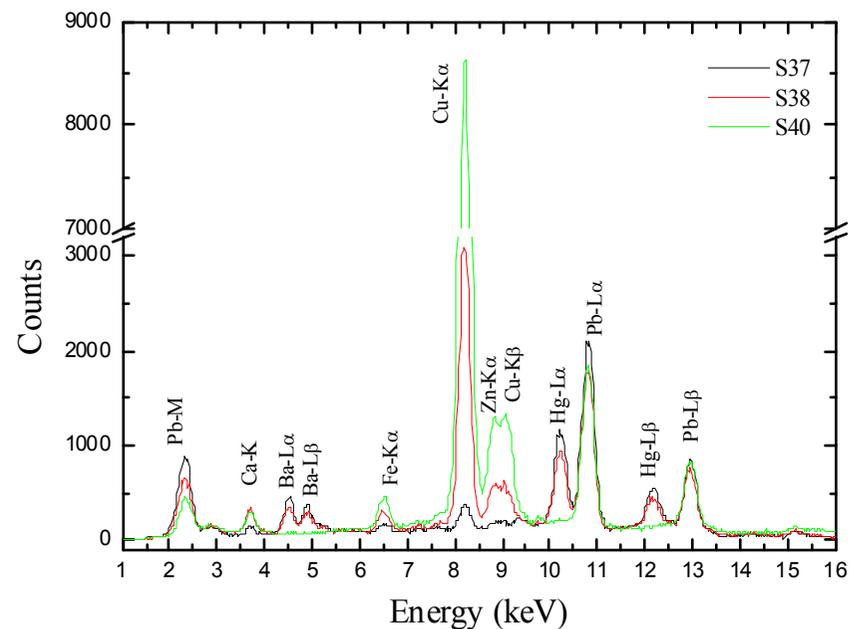
Nella regione 18 sono evidenti i segnali di Zn, Ca e Ba: lo Zn può essere dovuto alla presenza di bianco di zinco (ZnO). Tale pigmento, utilizzato a partire dalla fine del 1700, conferma la presenza di pigmenti aggiunti durante interventi di restauro. Il Ba, presente insieme allo S, è dovuto alla presenza di barite (BaSO<sub>4</sub>) utilizzata probabilmente come sbiancante.

## GIALLI + SOSPETTO ORO

Le analisi hanno identificato come elementi principali Pb (imprimitura) e Fe: quest'ultimo può essere dovuto alla presenza di ocra gialla ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ).



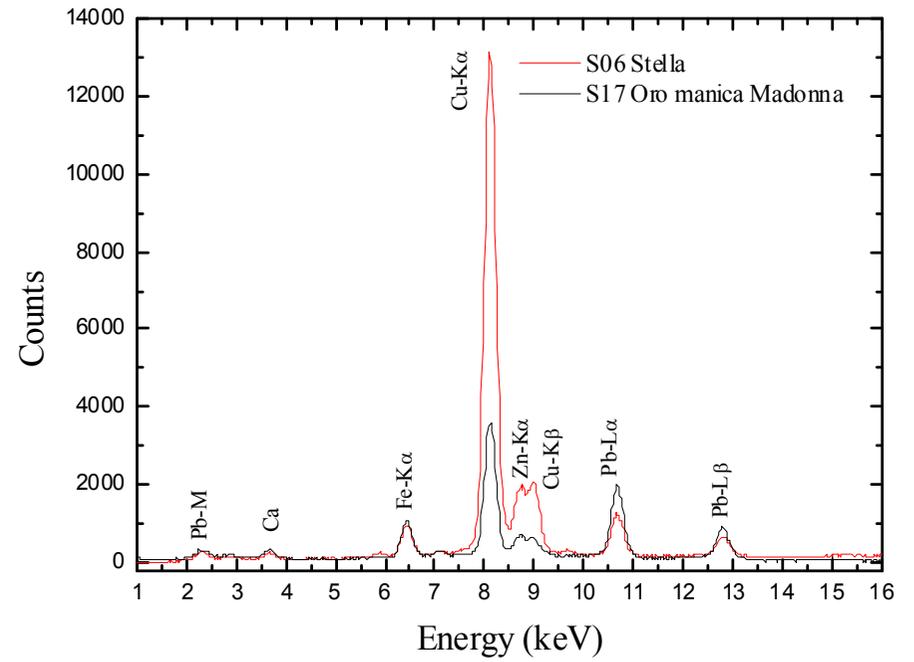
Cinta Bambino



	Ca	Ba	Fe	Cu	Zn	Pb	Hg
37	Tr	III				I	II
38	Tr	III	Tr	I	III	II	II
40	Tr		III	I	II	II	

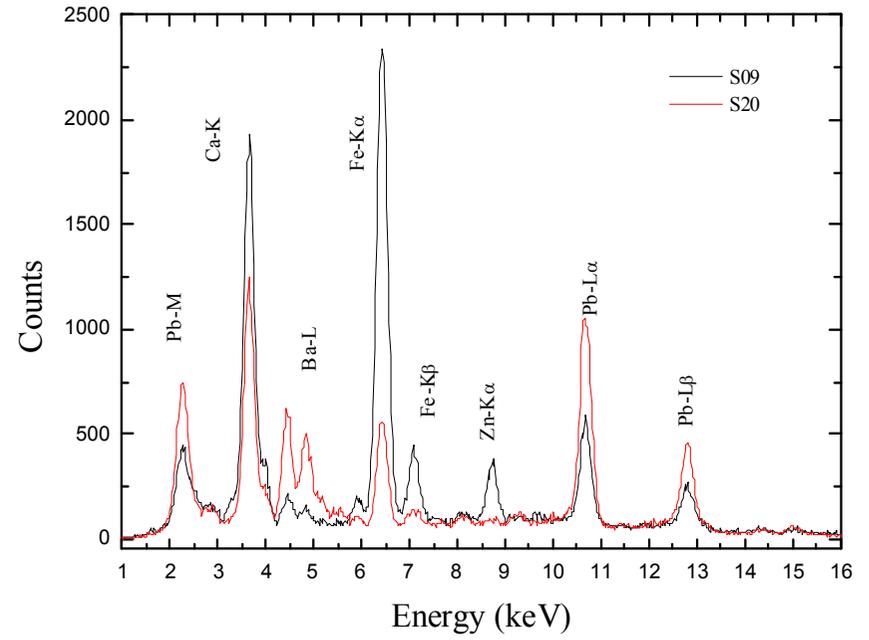
La cinta del Bambino evidenzia delle regioni di colore rosso (regioni 37 e 38) caratterizzati dalla presenza di Hg e S: si tratta probabilmente di cinabro ( $\text{HgS}$ ). La regione 40 manifesta notevoli quantità di rame probabilmente dovuto alla presenza, nei pigmenti, di frammenti di lamine in rame utilizzati per ottenere il falso oro.

# SOSPETTO ORO



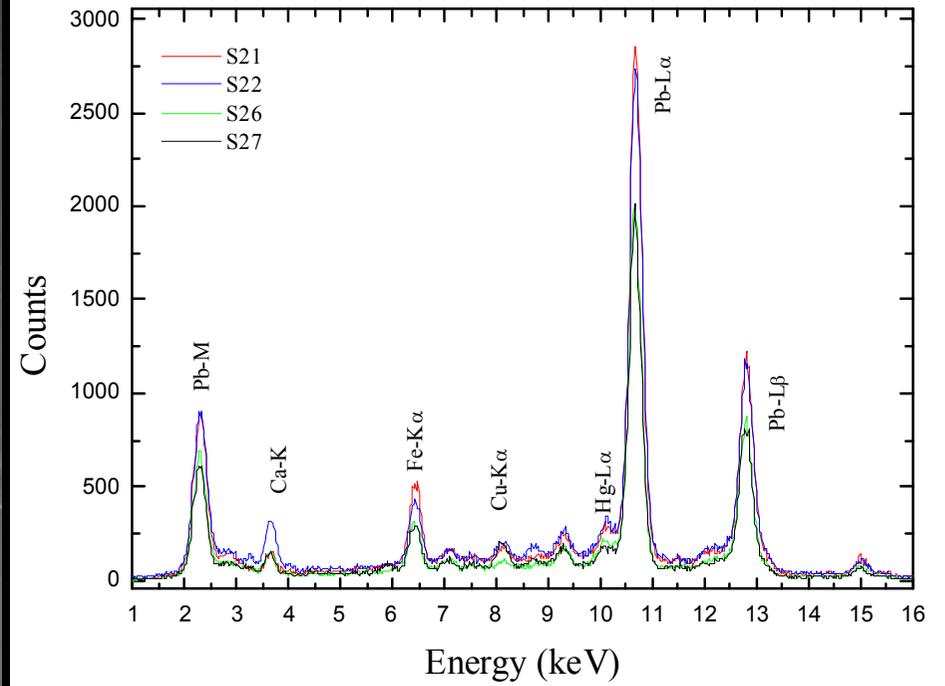
	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb
06	Tr	III	I	III	III
17	Tr	III	I	Tr	III

# BRUNI



	Ca	Ba	Fe	Pb	Zn
09	I	Tr	I	II	Tr
20	I	III	III	II	

# ROSSI

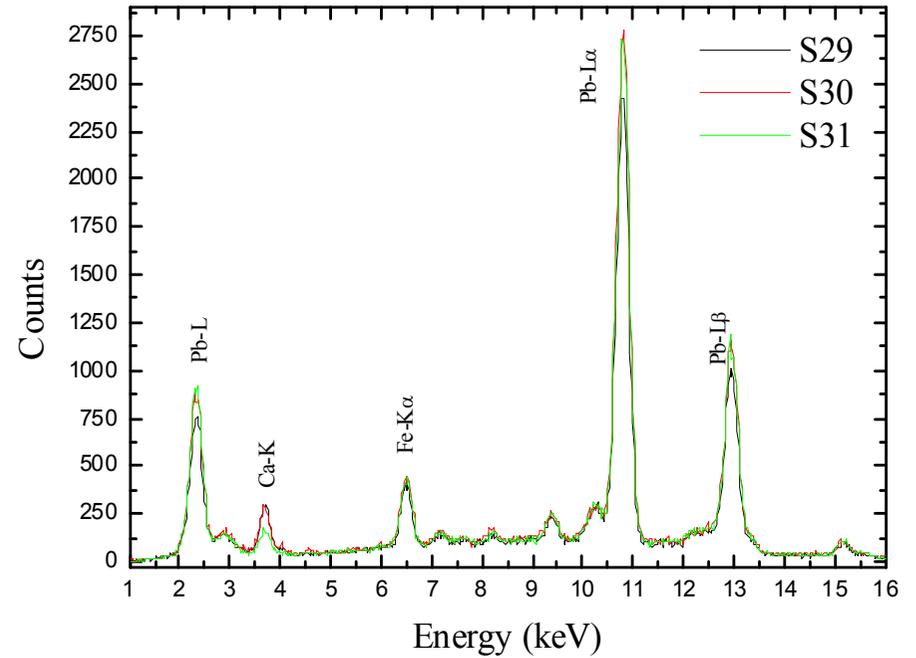


	Ca	Fe	Cu	Pb
21		III	Tr	I
22	III	III	Tr	I
26	Tr	III	Tr	I
27	Tr	III	Tr	I

# ROSSI



Manto Madonna



	Ca	Fe	Cu	Pb
29	Tr	III	Tr	I
30	Tr	III	Tr	I
31	Tr	III	Tr	I

La presenza di segnali molto intensi di Pb fa ipotizzare che sia stato utilizzato del minio ( $Pb_3O_4$ ) e non ocre rosse ( $Fe_2O_3$ ) in quanto il Fe è presente soltanto in tracce.

## La tavolozza del Sansovino

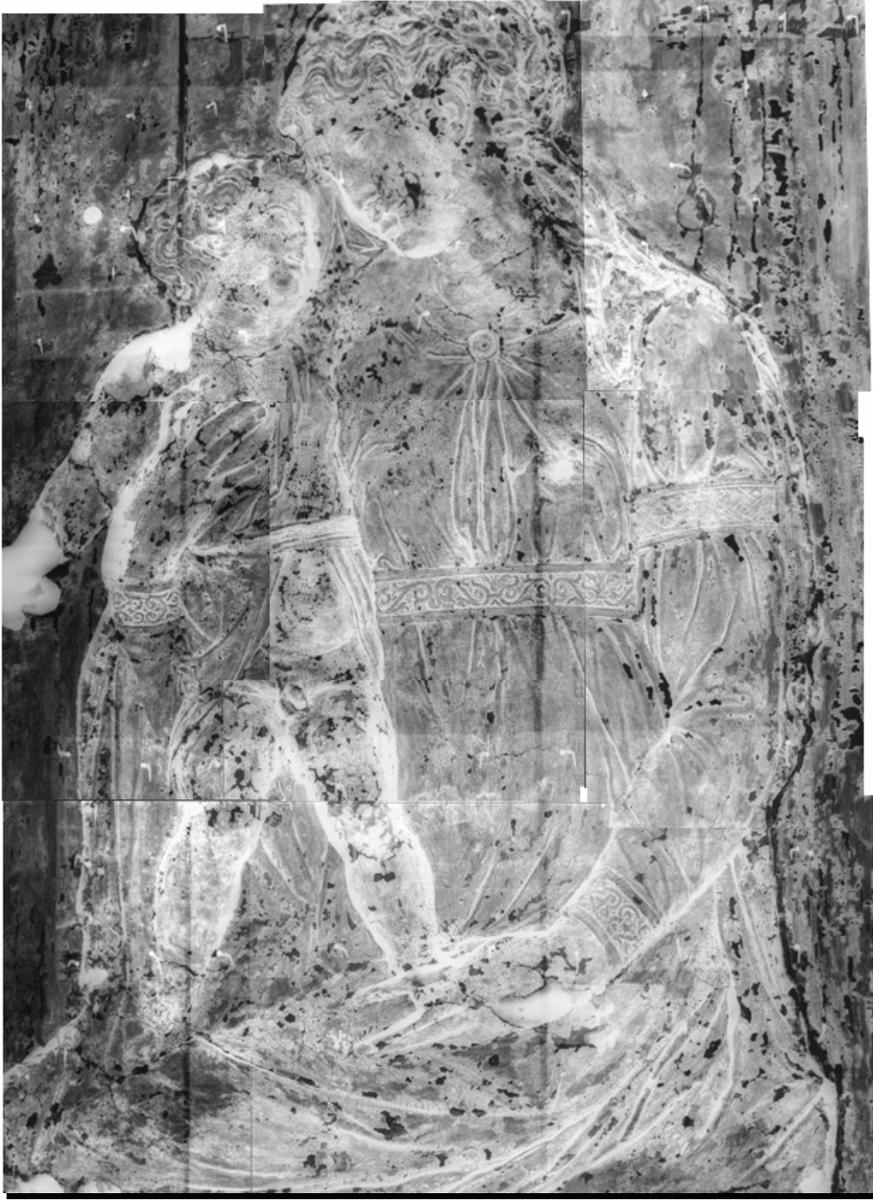
- *bianco di biacca*  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$
- *ocra rossa*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- *bianco di San Giovanni*  $\text{CaCO}_3$
- *cinabro o vermiglione*  $\text{HgS}$
- *azzurrite*  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
- *ocra gialla*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- *malachite*  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
- *minio*  $\text{Pb}_3\text{O}_4$

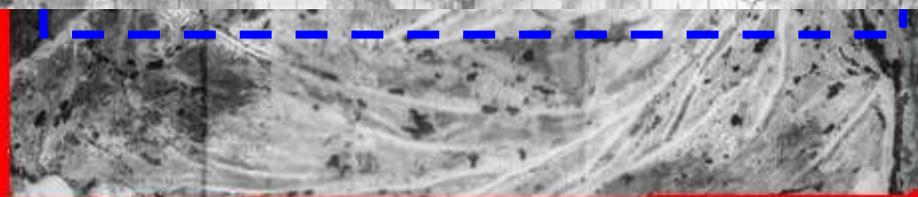
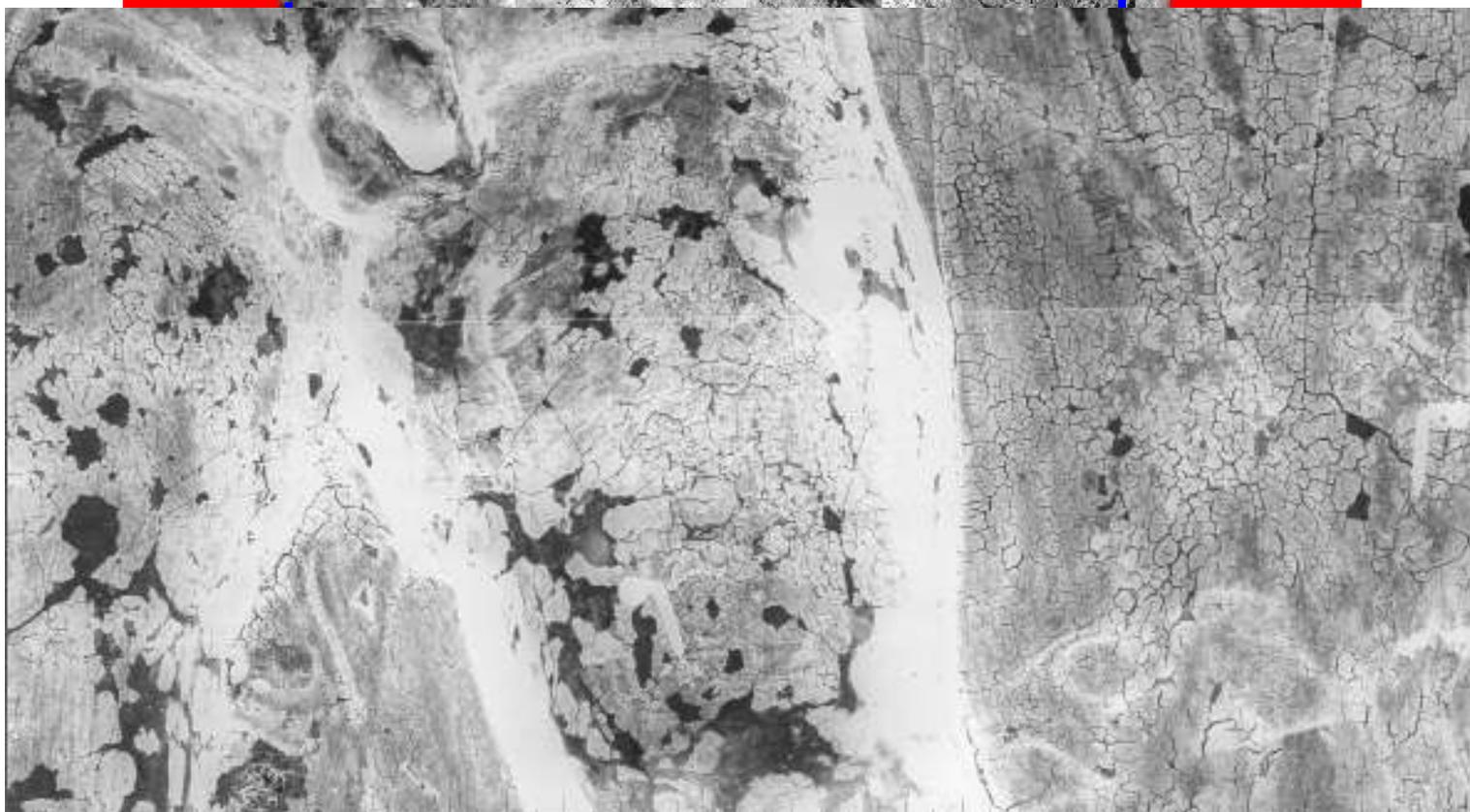
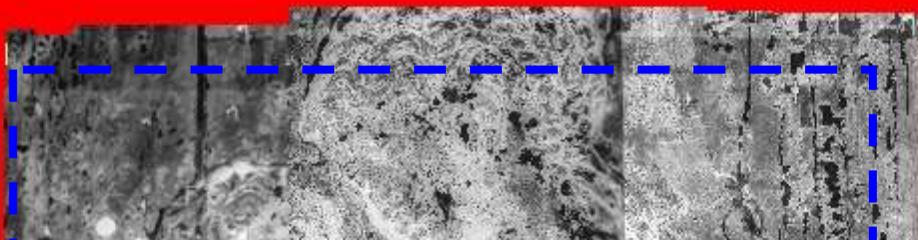


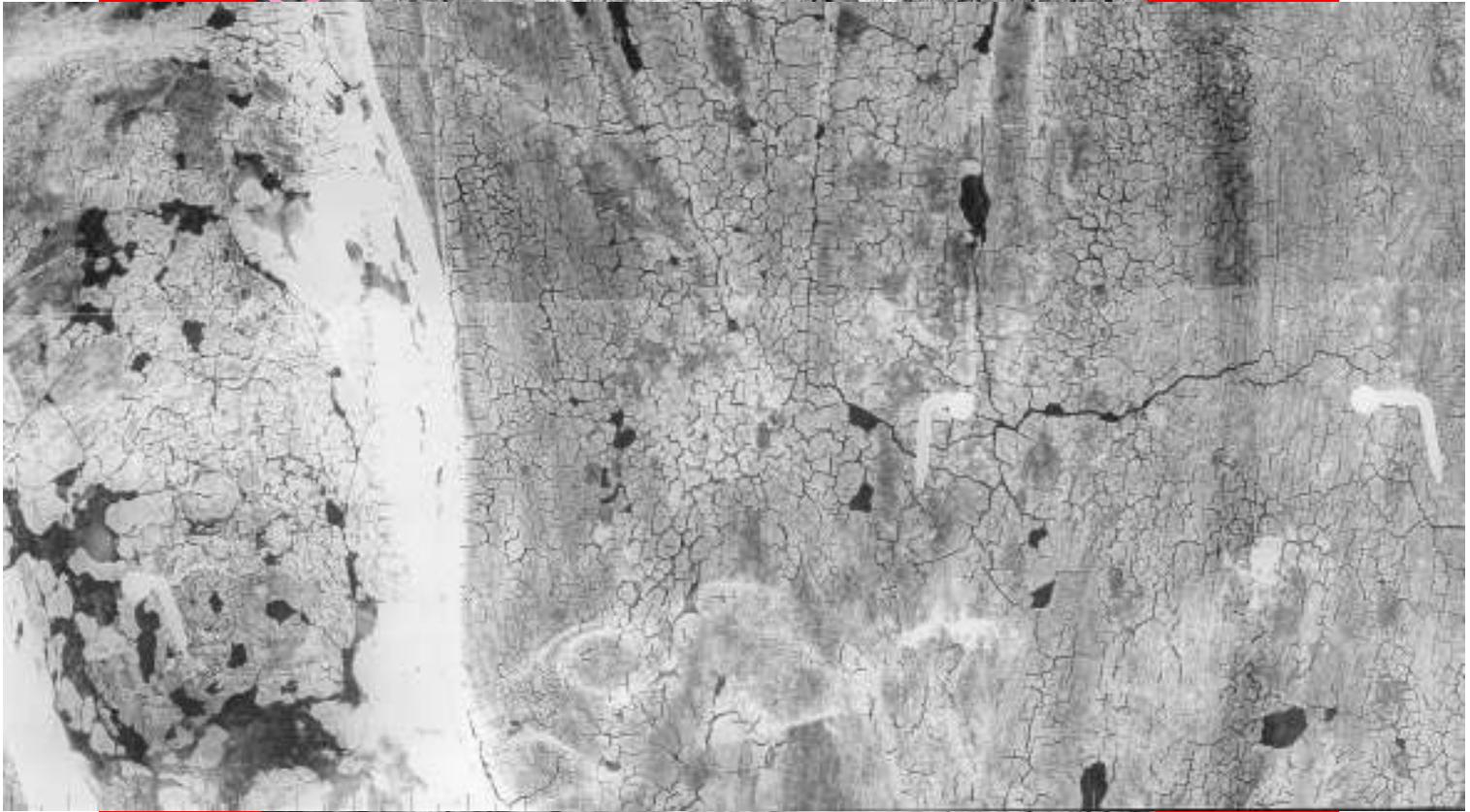
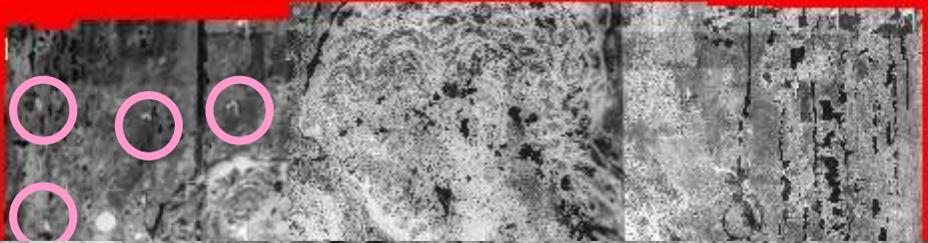
## Pigmenti postumi

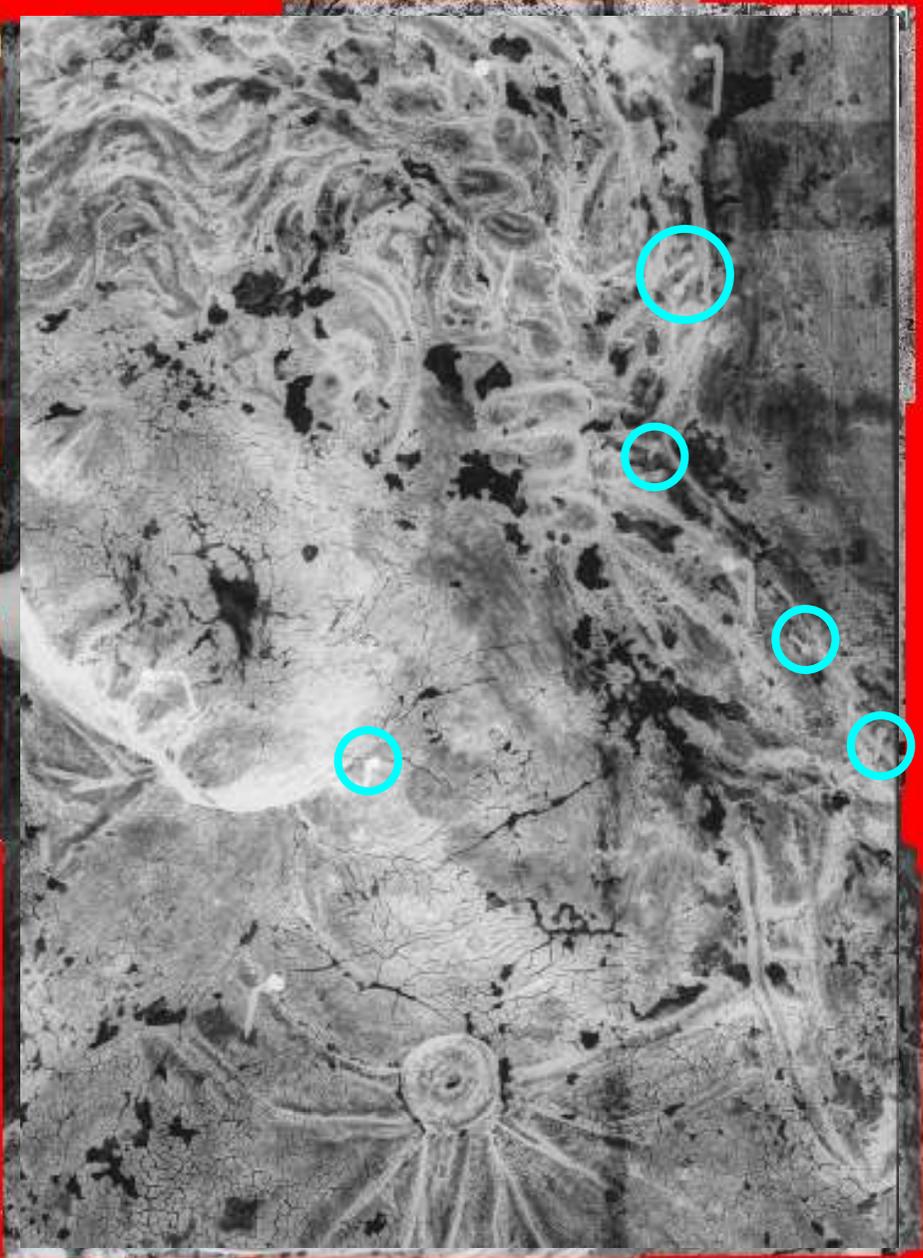
- *bianco di zinco*  $\text{ZnO}$
- *bianco di bario*  $\text{BaSO}_4$
- *blu di manganese*  $\text{BaMnO}_4 + \text{BaSO}_4$
- *blu di Prussia*  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$

# Indagini radiografiche

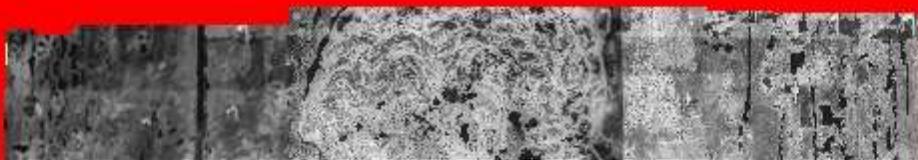




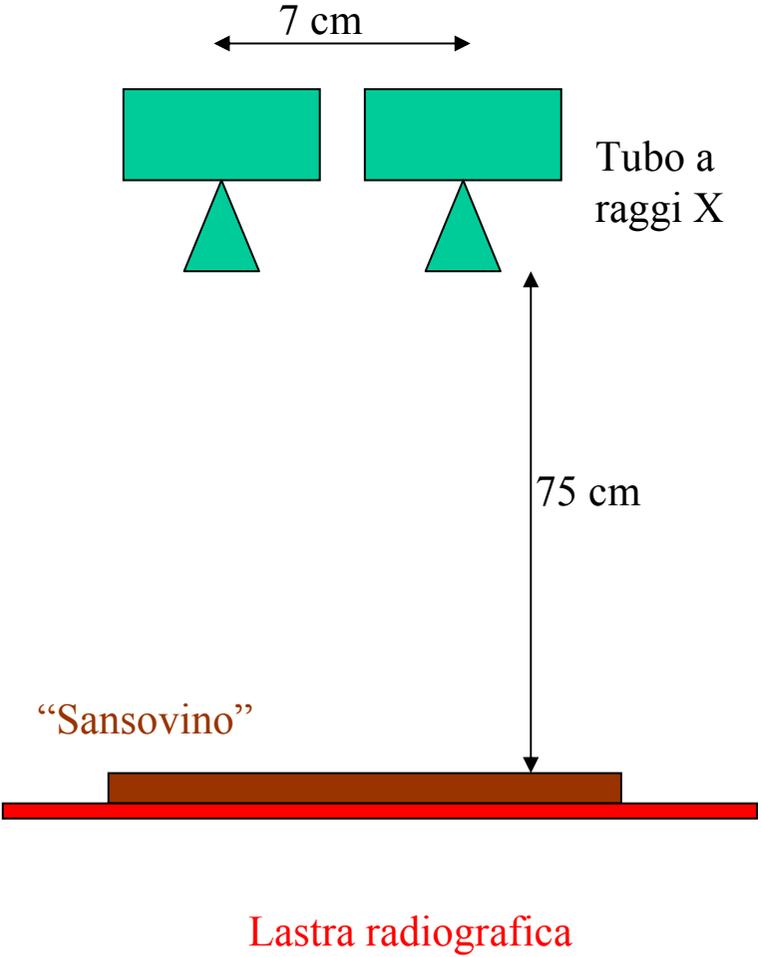
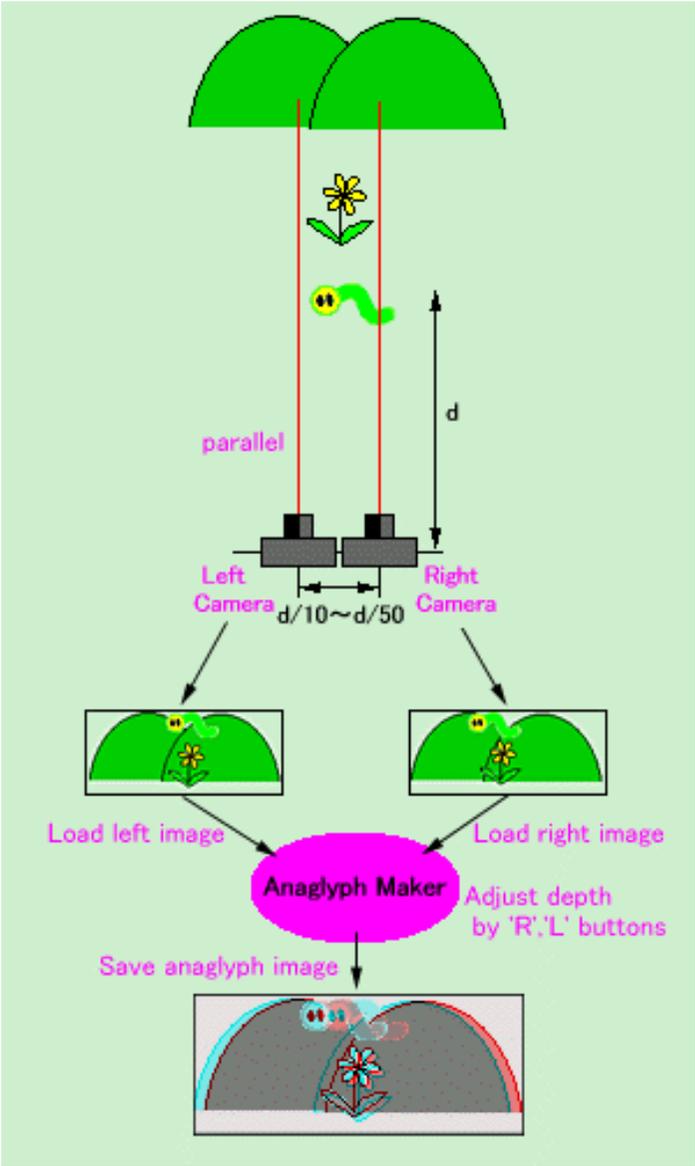


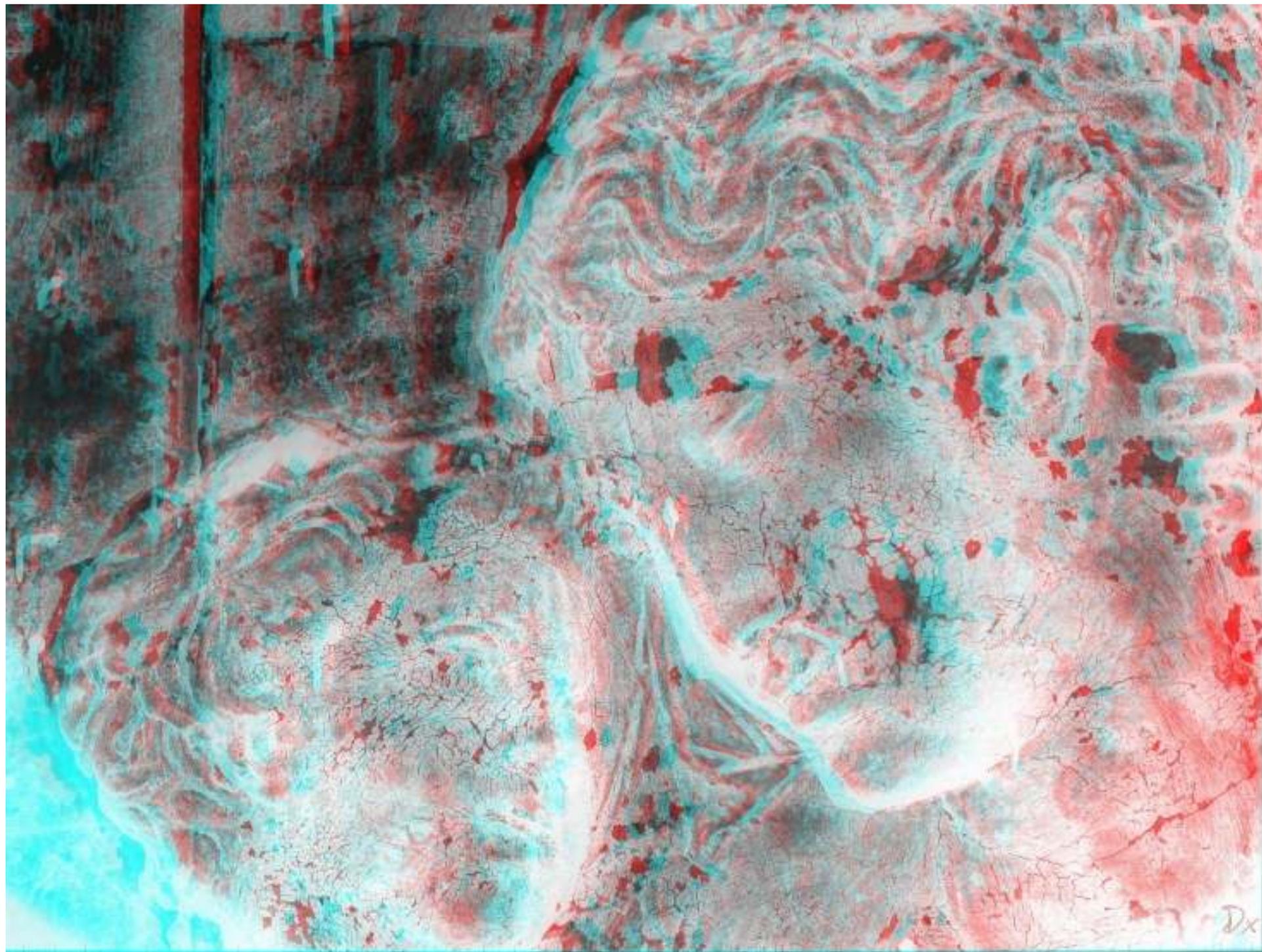






# La realizzazione di immagini radiografiche 3d







# Grotta dei Cervi (4000-3000 a.C.) - Porto Badisco (LE)

- Determinazione della radioattività naturale;
- Datazione delle pitture;
- Studio dei materiali;
- Analisi microclimatiche.



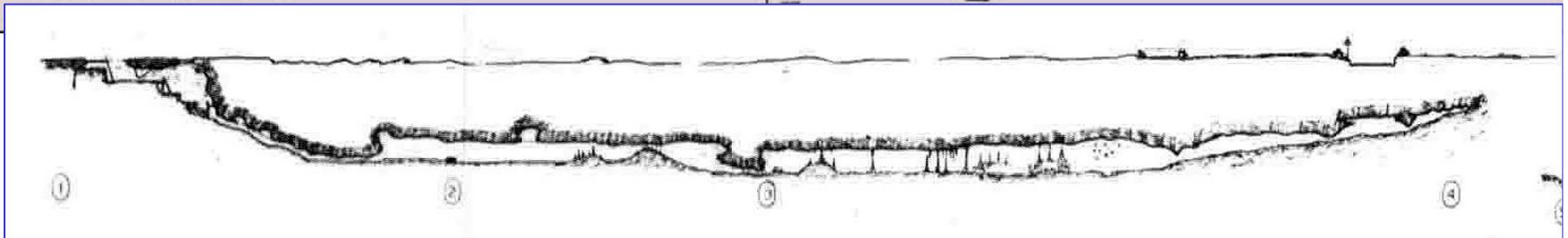
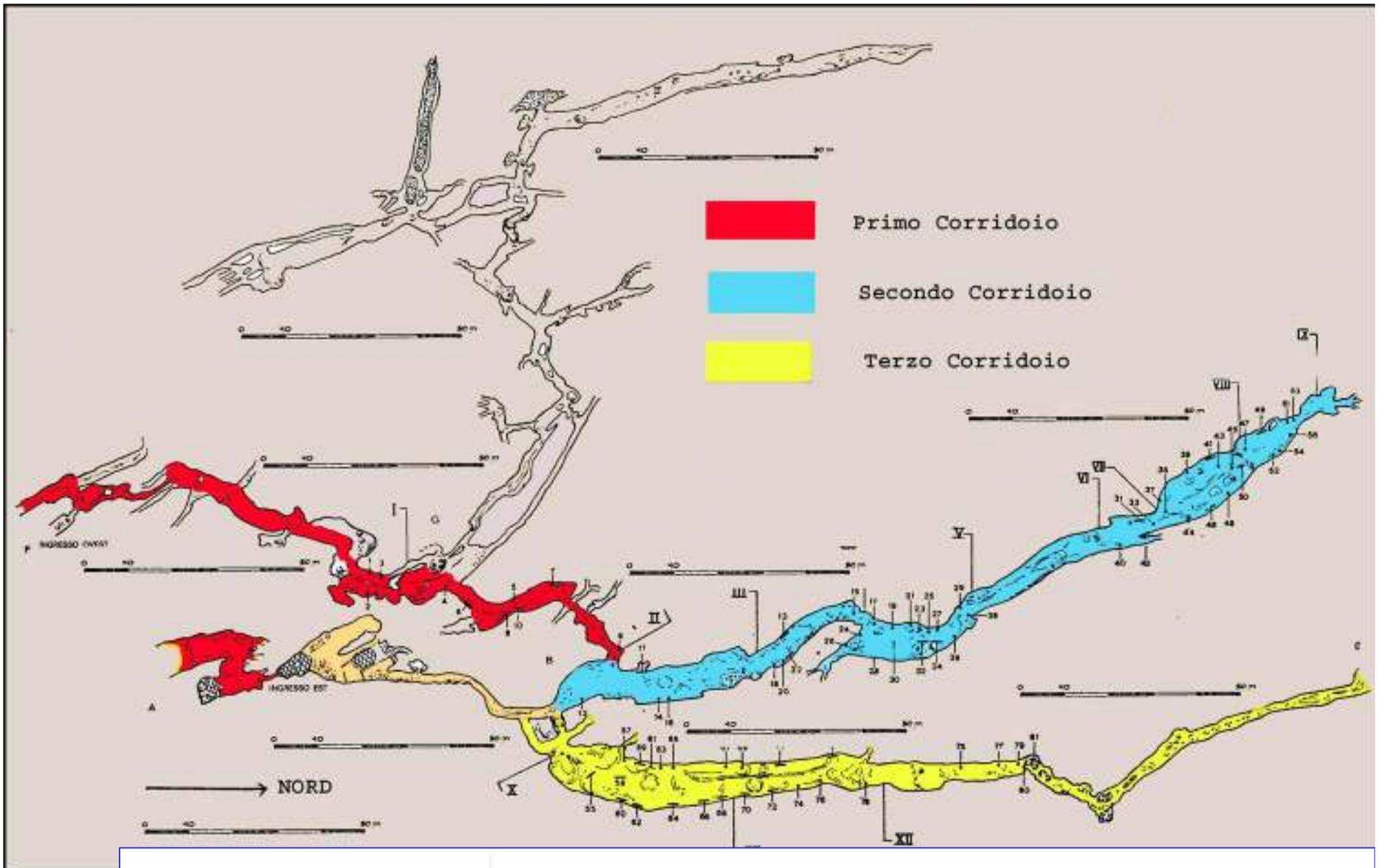
5000 a.C.

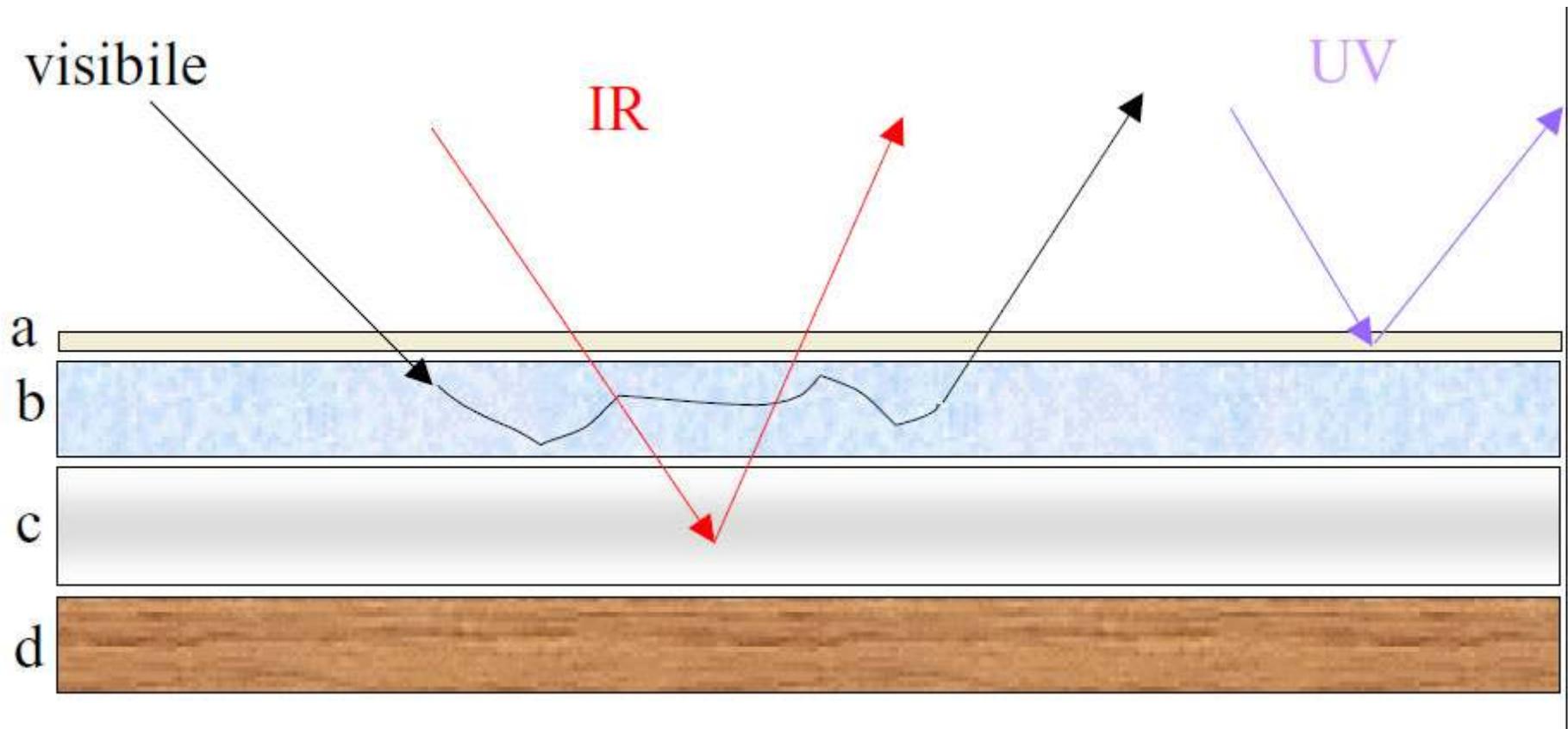
## Grotta dei Cervi (~~4000-3000~~ a.C.) - Porto Badisco (LE)

- Determinazione della radioattività naturale;
- Datazione delle pitture;
- Studio dei materiali;
- Analisi microclimatiche.











*Anonimo*

*Ritratto del Card. Mazarino*

*Olio su tela XVII sec.*

*Restaurato e ridipinto nella  
prima metà del 900*

**Visible**

**IR**



## 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.



Attualmente 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.

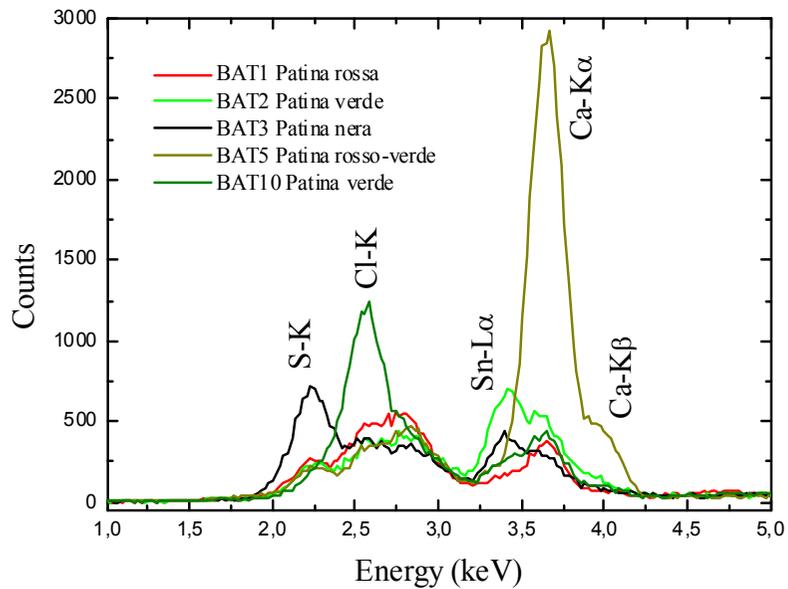


Il Prof. Maurizio MARABELLI dirige i lavori e il laboratorio di Archeometria dell'Università del Salento cura lo studio delle patine.

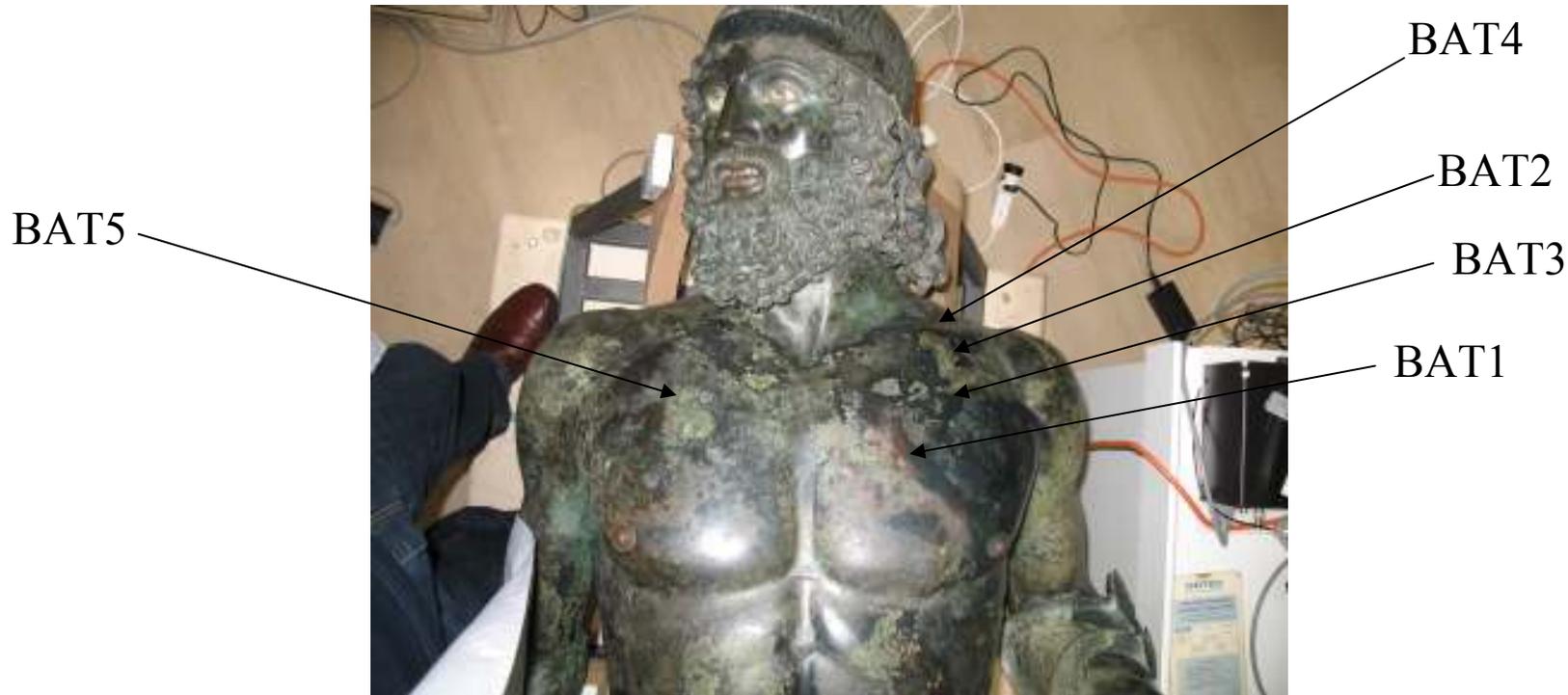
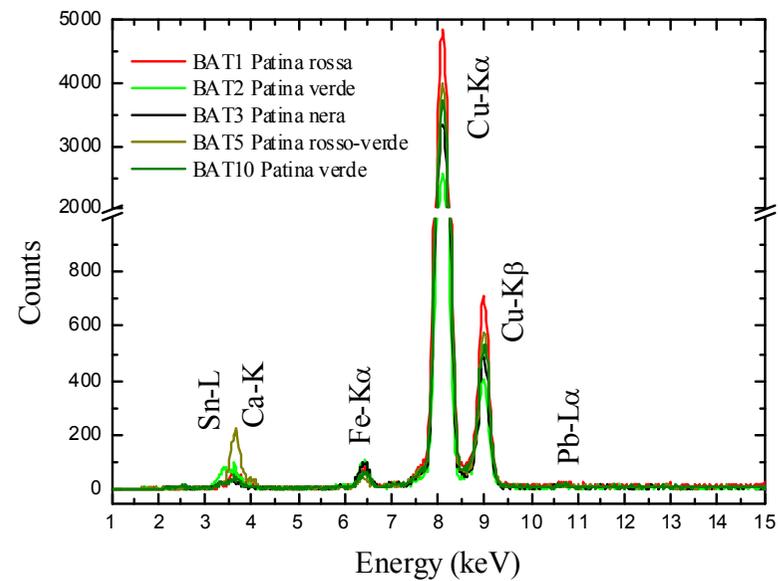
*..... patine nere, patine verdi, patine rosse, patine color bronzo, .....*



Bronzo A, Torace



Bronzo A, Torace



<b>Elemento</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Posizione</b>
Zolfo	S	2.3
Cloro	Cl	2.6
Argon	Ar	2.9
Calcio	Ca	3.7 - 4.0
Titanio	Ti	4.5 - 4.9
Cromo	Cr	5.4 - 6.0
Manganese	Mn	5.9 - 6.5
Ferro	Fe	6.4 - 7.0
Cobalto	Co	6.9 - 7.6
Nichel	Ni	7.5 - 8.3
Rame	Cu	8.0 - 8.9
Zinco	Zn	8.6 - 9.6
Arsenico	As	10.5 - 11.7
Mercurio	Hg	10.0 - 11.8
Piombo	Pb	2.4 - 10.5 - 12.6
Argento	Ag	2.9 - 22.2
Stagno	Sn	3.4 - 3.7 - 25.3
Oro	Au	9.7 - 11.4

**Righe di emissione di  
alcuni elementi**