

**SCUOLA  
DI FISICA**

**20170410-20170412**

**CAVALLERIZZA REALE TORINO**

# ***Alla scoperta di antiche civiltà impiegando le tecniche della fisica nucleare***

**Alessandro Re**



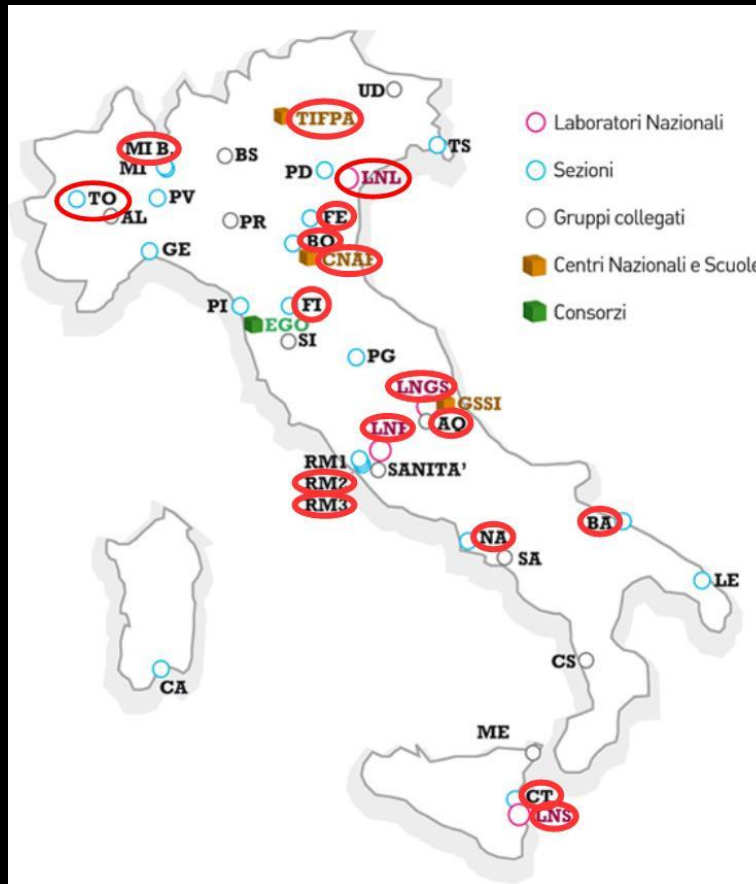
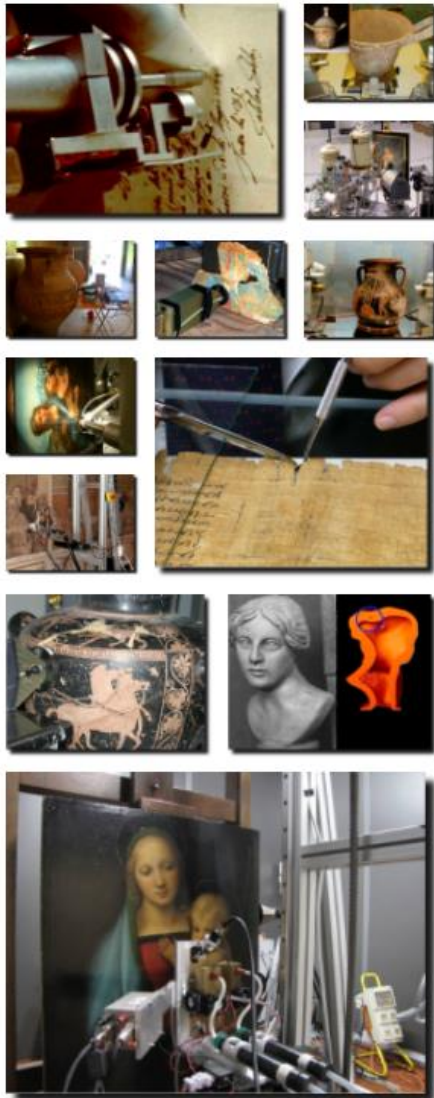
Università degli Studi di Torino (Dipartimento di Fisica) e  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Sezione di Torino)  
Via Pietro Giuria 1, 10125 Torino  
Email: [alessandro.re@unito.it](mailto:alessandro.re@unito.it) – Telefono: 011.6707378  
[www.solid.unito.it](http://www.solid.unito.it)



Scuola di fisica 2017 – Torino, 10-12 aprile 2017  
Aula Magna Cavallerizza Reale, Università di Torino

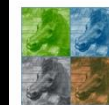
# La rete CHNet sui beni culturali dell'INFN

Oltre che collaborazioni tra dipartimenti dell'Università di Torino e altre Università, esiste una forte collaborazione del Dipartimento di Fisica con l'INFN, che ha una rete formata da molte sezioni dedicate ai Beni Culturali



<http://chnet.infn.it/>

Inserita nel network IPERION



IPERION CH.it

<http://iperionchit.net/>

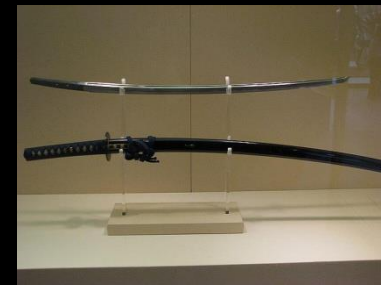
# Beni culturali: gli oggetti

- Dipinti murali, quadri, mosaici
- Statue
- Resti archeologici
- Edifici storici
- Vasi
- Libri e fotografie
- Mobili
- Gioielli
- Armi
- Arte contemporanea

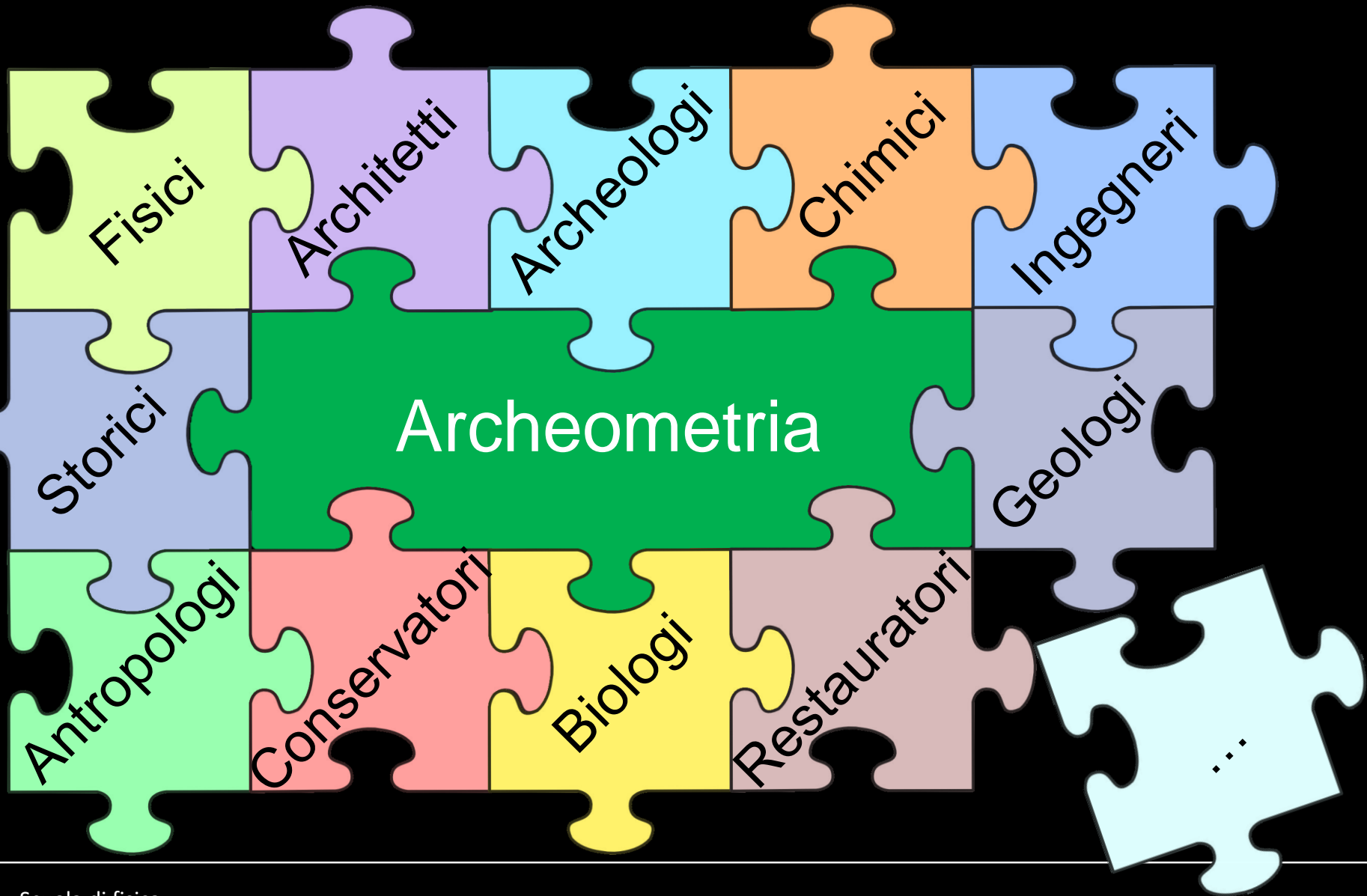


# *Beni culturali: i materiali*

- Pigmenti
- Malte, intonaci
- Pietra
- Legno
- Metalli e leghe
- Ceramiche e vetri
- Mattoni crudi, laterizi
- Carta, cuoio, fibre, piume
- Plastica, materiali sintetici
- Materiali compositi di vario genere



# Multidisciplinarietà

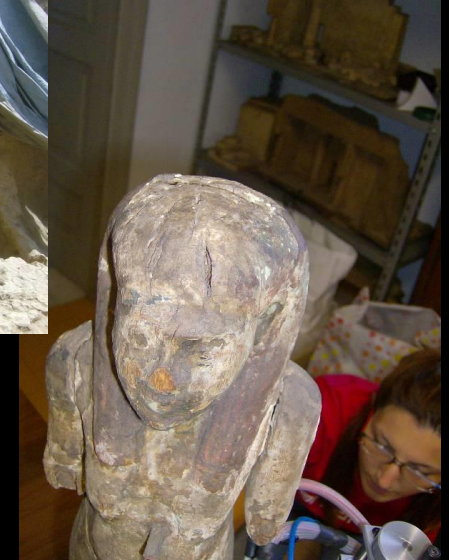


# Le domande di archeologi, conservatori, storici...

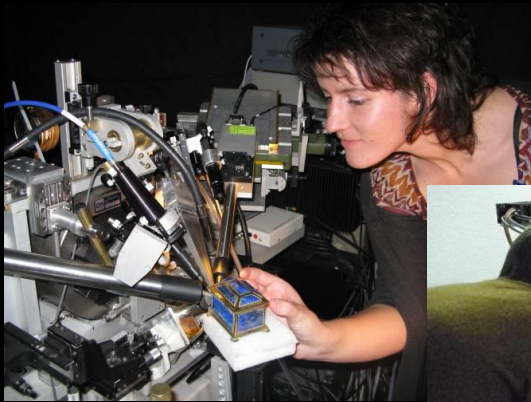


Di che materiale è fatto?

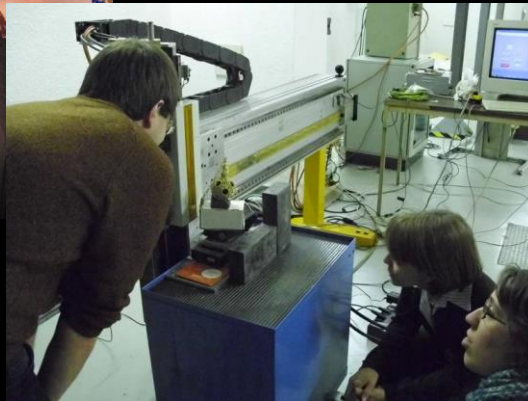
Come è fatto?



Da dove proviene il materiale di cui è composto?



E' autentico?



Qual è lo stato di degrado?

Quando è stato fatto?

Da dove proviene?



# Studio di provenienza del lapislazzuli

Usato per la glittica...  
(dal V millennio a.C.)



Figurina di donna in Lapis lazuli da  
Ieracopolis, antico Egitto  
(3300-3000 a.C.)  
Ashmolean Museum, Oxford (UK)

Scopo della ricerca

Identificare marker univoci per distinguere le  
provenienze del lapislazzuli dai vari giacimenti  
Applicare questi marker a oggetti archeologici  
fatti in lapislazzuli per capire quale sia la  
provenienza del materiale grezzo

**OBBLIGO DI  
USARE  
TECNICHE  
NON INVASIVE**

... e come pigmento  
(dal VI secolo d.C.)



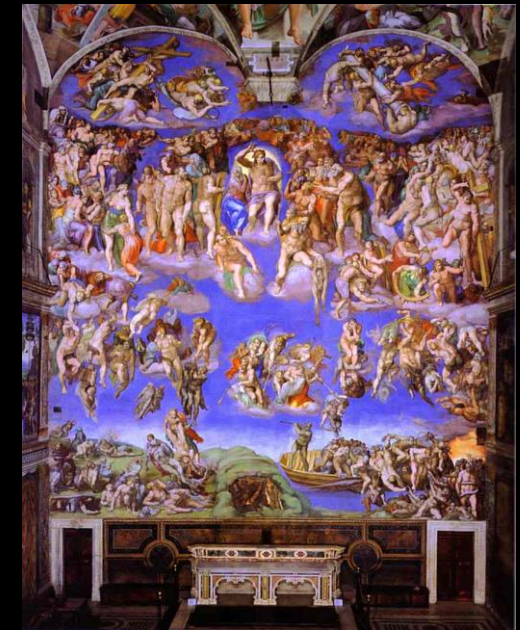
"Cofanetto", "Collezione Medicea" (XVI-  
XVII secolo)  
Museo di Storia Naturale, Università di  
Firenze (Italia)



"Lo stendardo di Ur" da Ur, Iraq  
(circa 2600-2400 a.C.)  
The British Museum, London (UK)



"The Imperial Czarevitch Easter  
Egg" di Fabergé  
1912  
Virginia Museum of Fine Arts  
(USA)



Il Giudizio Universale, Cappella  
Sistina  
XVI secolo  
Roma (Italia)



# Studio di provenienza del lapislazzuli

III millennio a.C.

<http://www.britishmuseum.org>

II millennio a.C.



"Lyre" da Ur,  
Iraq  
(circa 2600 a.C.)  
The British  
Museum,  
London (UK)



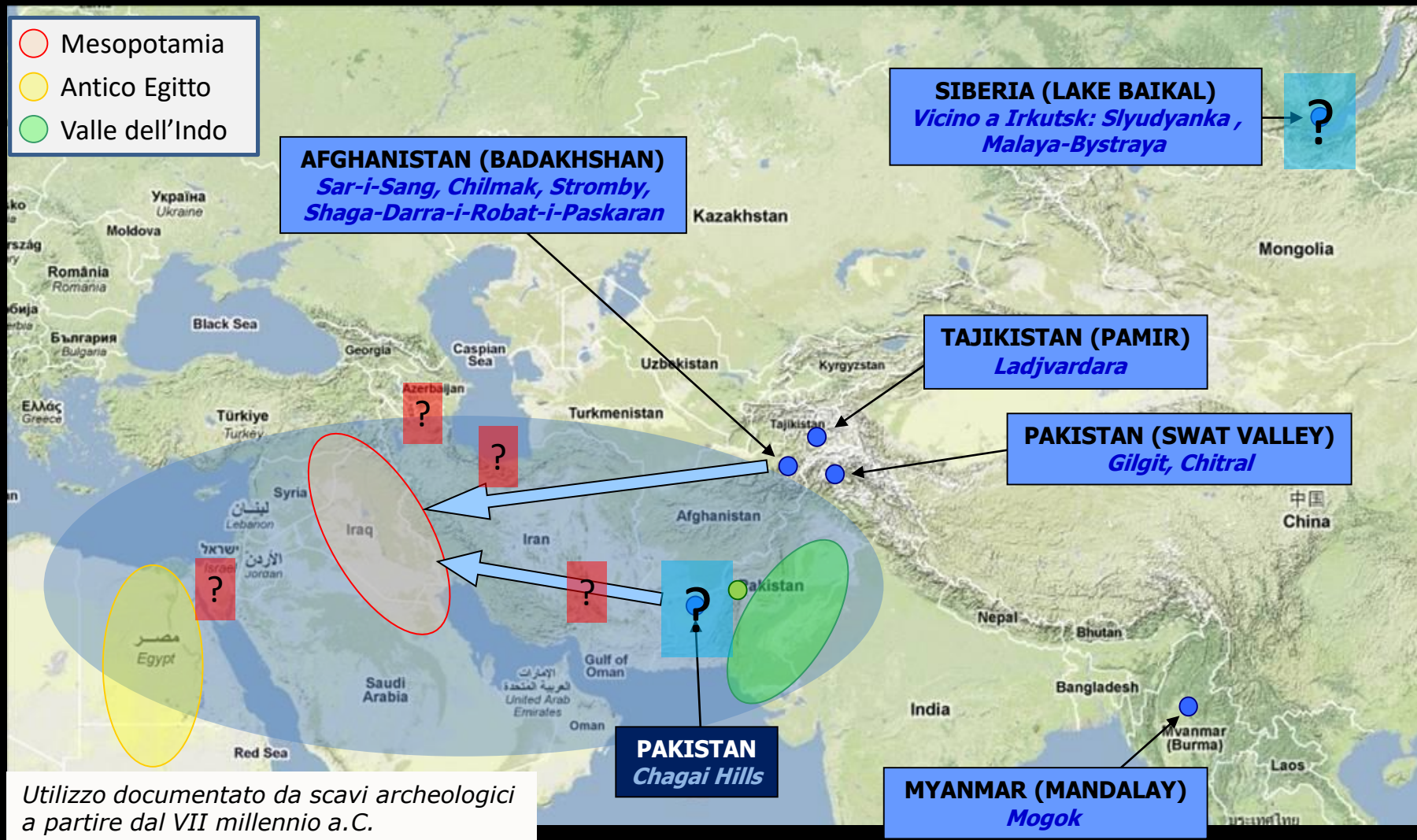
"The Ram in the  
Thicket" da Ur,  
Iraq  
(circa 2600 a.C.)  
The British  
Museum,  
London (UK)



"Tutankhamun's mask"  
Circa 1300 a.C.  
Egyptian Museum, Cairo, Egypt)  
By Carsten Frenzl from Obernburg, Deutschland -  
TUT-Ausstellung\_FFM\_2012\_47, CC BY 2.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33344968>

# Studio di provenienza del lapislazzuli

Dove si collocano le miniere antiche (VII-I millennio a.C.) di questa roccia? Sono state sfruttate miniere solo in Afghanistan (Badakhshan)? Ricostruzione di rotte commerciali in tempi antichi.



Utilizzo documentato da scavi archeologici a partire dal VII millennio a.C.

# Studio di provenienza del lapislazzuli

Il giacimento di Lapislazzuli per eccellenza è quello di Sar-e-Sang, situato nell'aspra Kokcha Valley, nel remoto Distretto di Badakhshan, nel nord dell'Afghanistan. Il geografo persiano medievale Estakhri visitò le miniere afgane di Lapislazzuli nel X secolo e quando, nel XIII secolo, Marco Polo le visitò a sua volta, scrisse: *"Si trovano similmente monti, nelle quali vi è la vena delle pietre, delle qual si fa l'azzurro, il migliore che si truovi nel mondo"*.

Ma sono state utilizzate altre miniere?

Scrive Georgina Herrmann, nel 1968, a proposito di possibili giacimenti di lapislazzuli situati in Persia: *«Although geologists deny its existence today, there is sufficient literary evidence to suggest that the stone was once mined there, for a number of references of the thirteenth and fourteenth centuries A.D. claim a Persian provenance. The most definite and informative of these references is that made by Hamd-Allah Mustawfi of Qazvin, the State Accountant of Sultan Abu Said (A.D. 1316-1335), who was the great-grandson of Hulagu Khan. He (Mustawfi) writes: "The best mines of this stone are in Badakhshan, but there are mines also in Mazan-deran, and others at Dizmar in Azerbaijan, and there is also one in Kerman."*

Al Biruni, nel suo trattato sulle pietre preziose che risale tra il 1020 e il 1030 d.C., scrive che il lapislazzuli arriva in Arabia da giacimenti situati in Armenia, mentre quello che arriva in Iran proviene direttamente dal Badakhshan.

Ahmad Ibn-Yusuf at-Tifasi (Ahmed Teifascite, 1184-1253) nella sua opera "Fior di pensieri sulle pietre preziose" cita altri luoghi da dove si estraeva il lapislazzuli: Korassan, segnatamente da un luogo detto Khotan, e da un angolo della Persia verso l'Armenia.



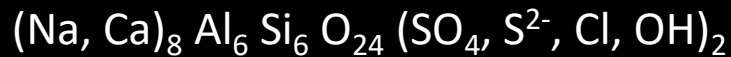
<http://www.lightmediation.net/blog/index.php/2009/05/01/lapis-lazuli-the-afghan-blue-fortune/>

# Studio di provenienza del lapislazzuli

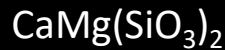
Si tratta di una roccia di colore blu formata da un aggregato di diversi minerali



**LAZURITE**



**DIOPSIDE**



**WOLLASTONITE**



**K-FELDSPATI**



**CALCITE**



**PIRITE**



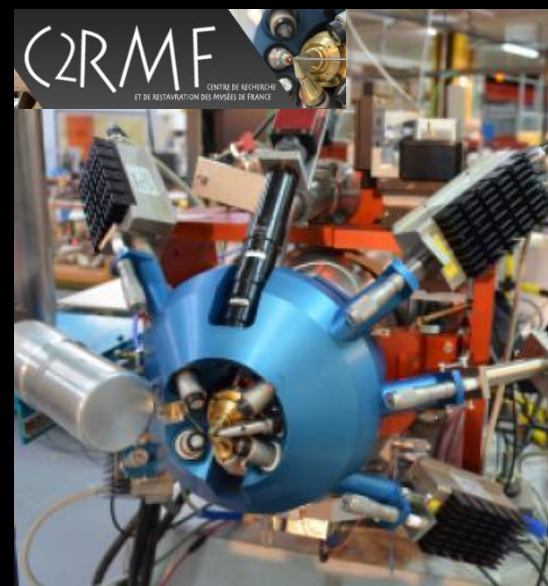
Ed altri...

# Studio di provenienza del lapislazzuli



**INFN-LNL (Padova)**

<http://www.lnl.infn.it>



**AGLAE, C2RMF (Paris)**

<http://c2rmf.fr/analyser>



**INFN - LABEC (Firenze)**

<http://labec.fi.infn.it/>

# Studio di provenienza del lapislazzuli



FUTURIS

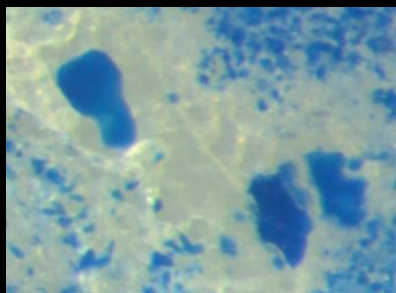
Euronews – Futuris  
Art detectives team up

<http://www.euronews.com/2013/11/04/art-detectives-team-up/>

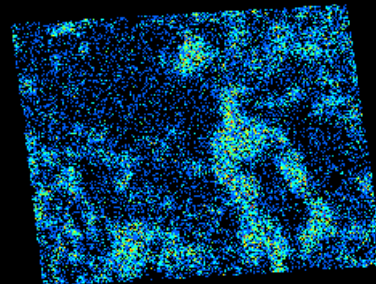
# Studio di provenienza del lapislazzuli

500  $\mu\text{m}$

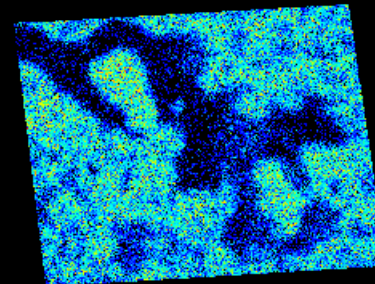
Microscopio



Mg

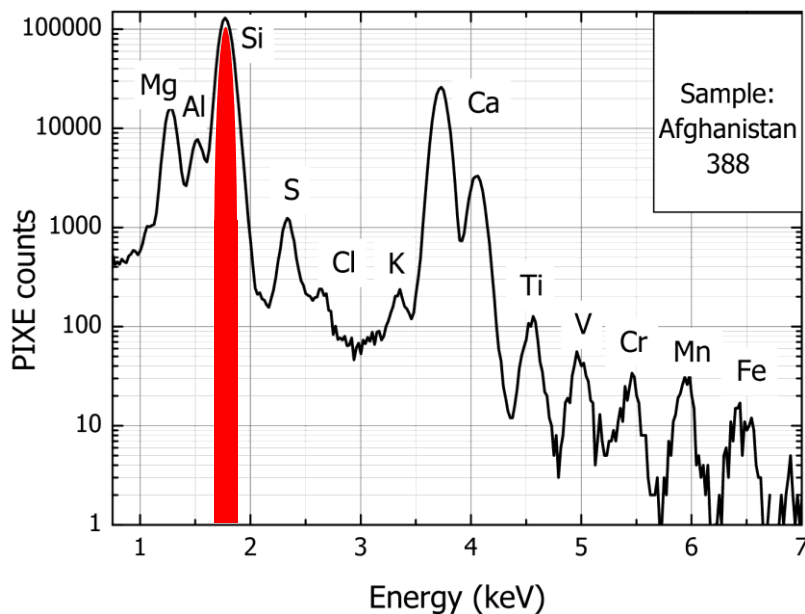


Al

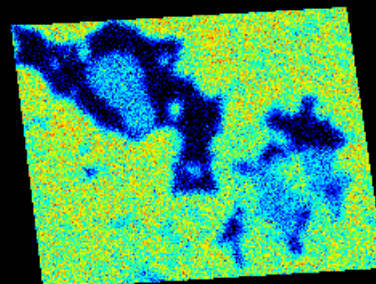


Mappe PIXE

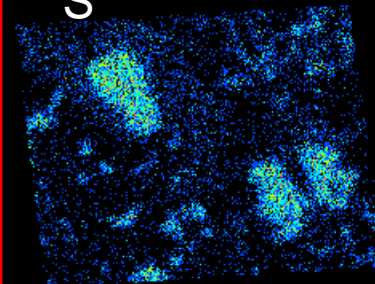
Spettro PIXE



Si

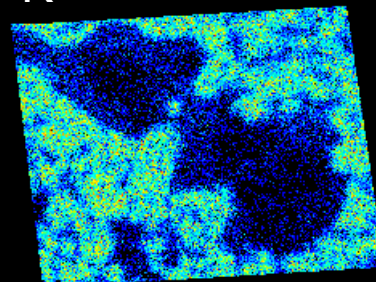


S

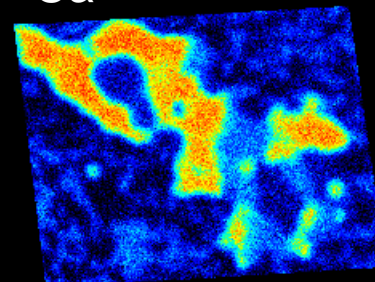


Max

K



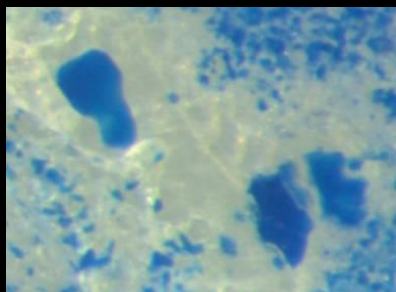
Ca



Min

# Studio di provenienza del lapislazzuli

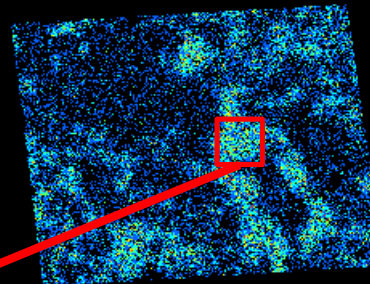
500  $\mu\text{m}$  Microscopio



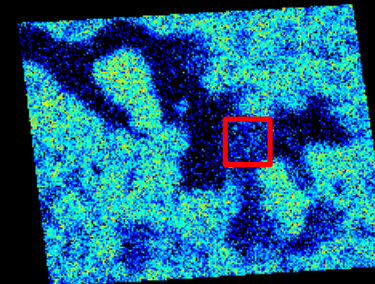
Mappe PIXE

**DIOPSIDE**  
 $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$

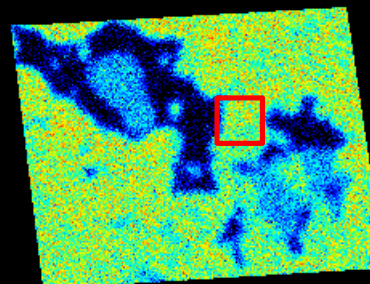
Mg



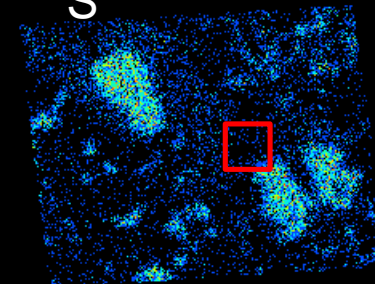
Al



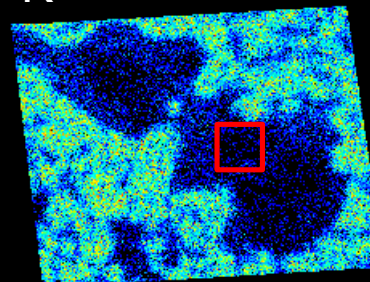
Si



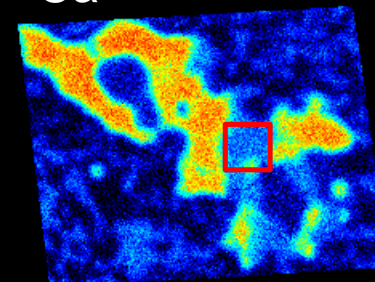
S



K

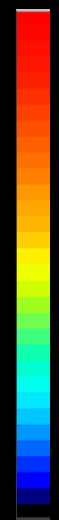


Ca



Max

Min



Elemento

wt %

Mg

$10.35 \pm 0.12$

Si

$25.77 \pm 0.18$

Ca

$19.56 \pm 0.13$

Elemento

ppm

Ti

$200 \pm 50$

V

$260 \pm 50$

Cr

$190 \pm 40$

Mn

$980 \pm 30$

Fe

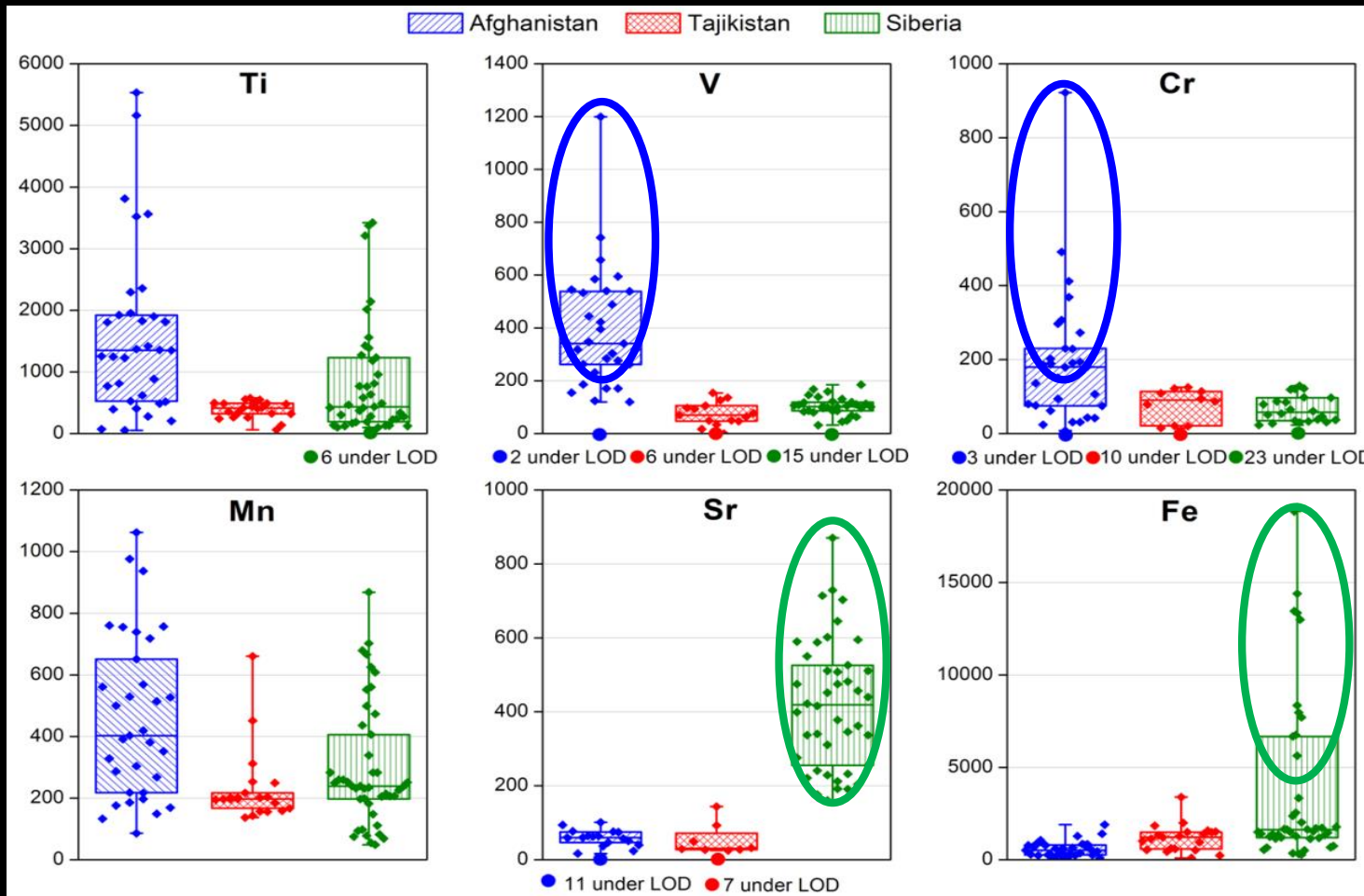
$830 \pm 20$



# Studio di provenienza del lapislazzuli

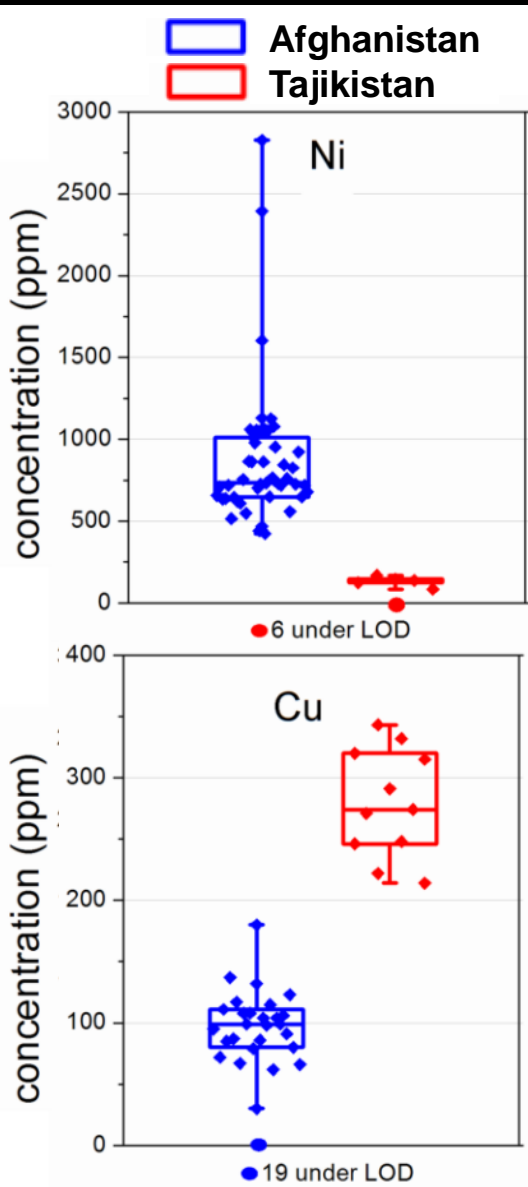
E' stato creato un database delle caratteristiche chimico-fisiche di lapislazzuli di provenienza nota.

Diopside

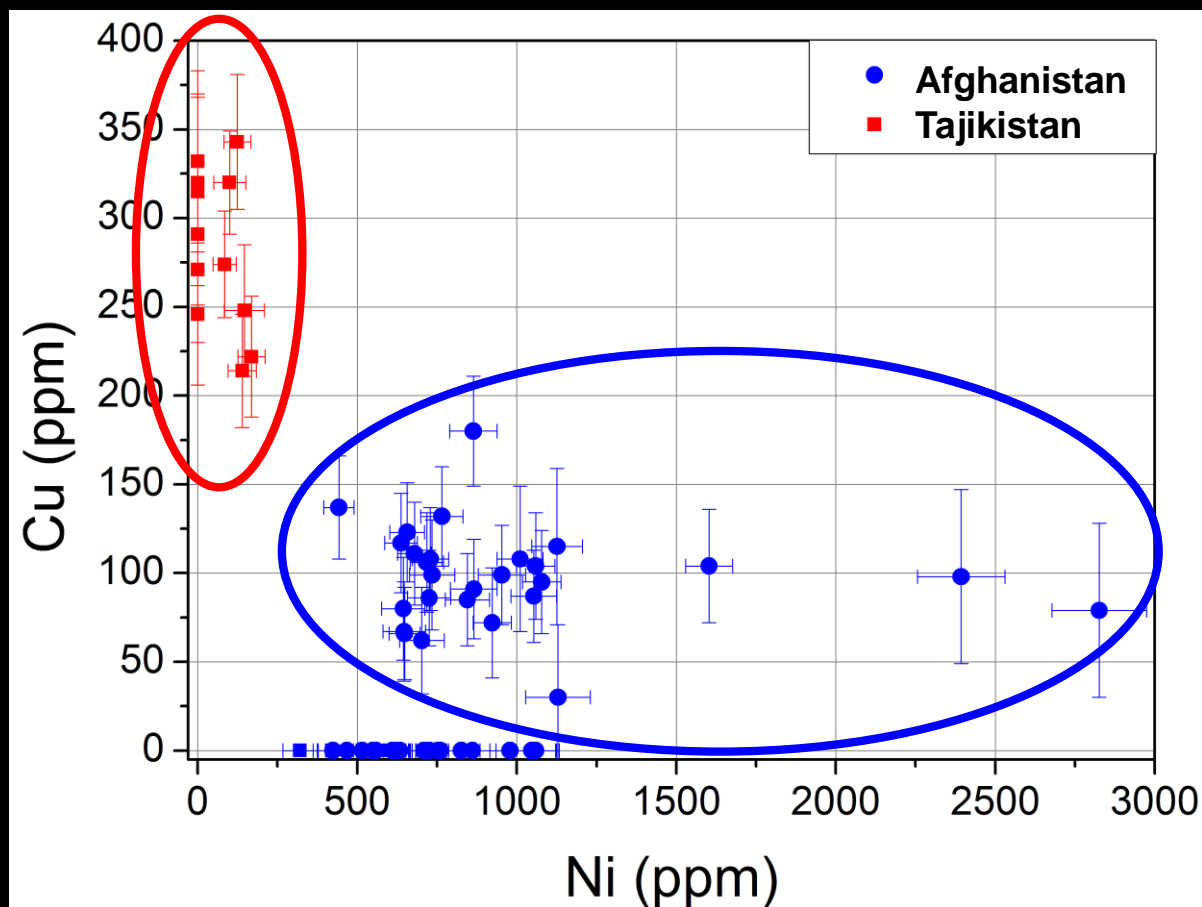


Ad esempio, dai grafici (ogni punto è una roccia analizzata) si vede che le quantità in traccia di elementi chimici differiscono a seconda della provenienza, ad esempio solo i campioni provenienti dall'Afghanistan hanno più di 200 ppm di vanadio.

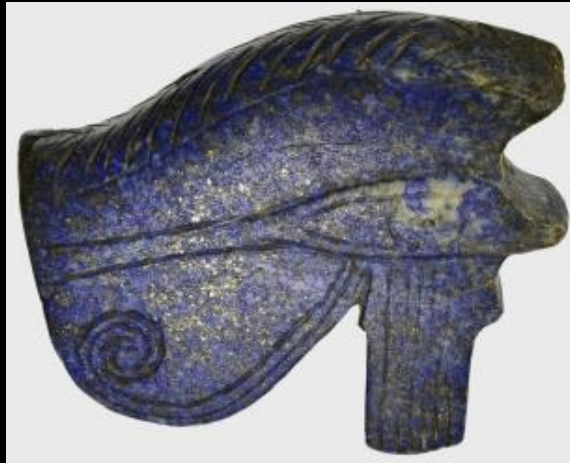
# Studio di provenienza del lapislazzuli



**Pyrite:** differenze fra le provenienze dell'Afghanistan e del Tajikistan



# Studio di provenienza del lapislazzuli



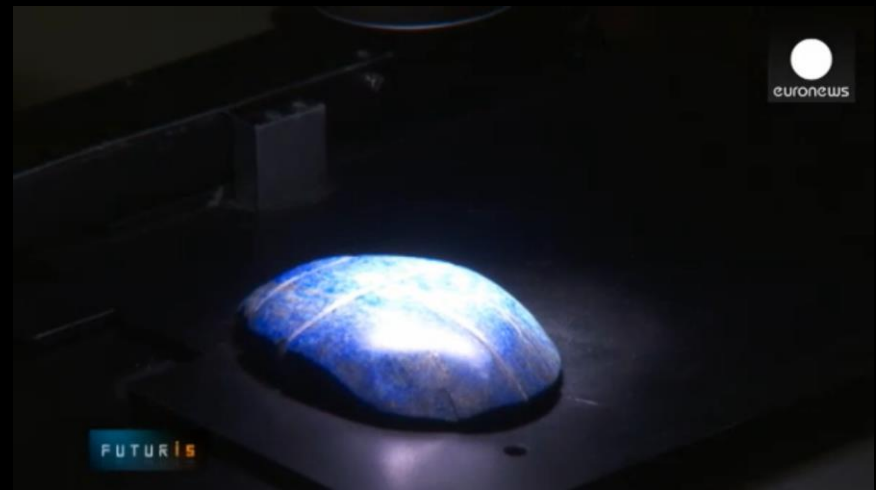
10 amuleti del Museo  
Archeologico Nazionale di Firenze  
(sezione museo egizio)

XIV - I secolo a.C.



<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12520-016-0430-0>

# Studio di provenienza del lapislazzuli



10 amuleti del Museo  
Archeologico Nazionale di Firenze  
(sezione museo egizio)

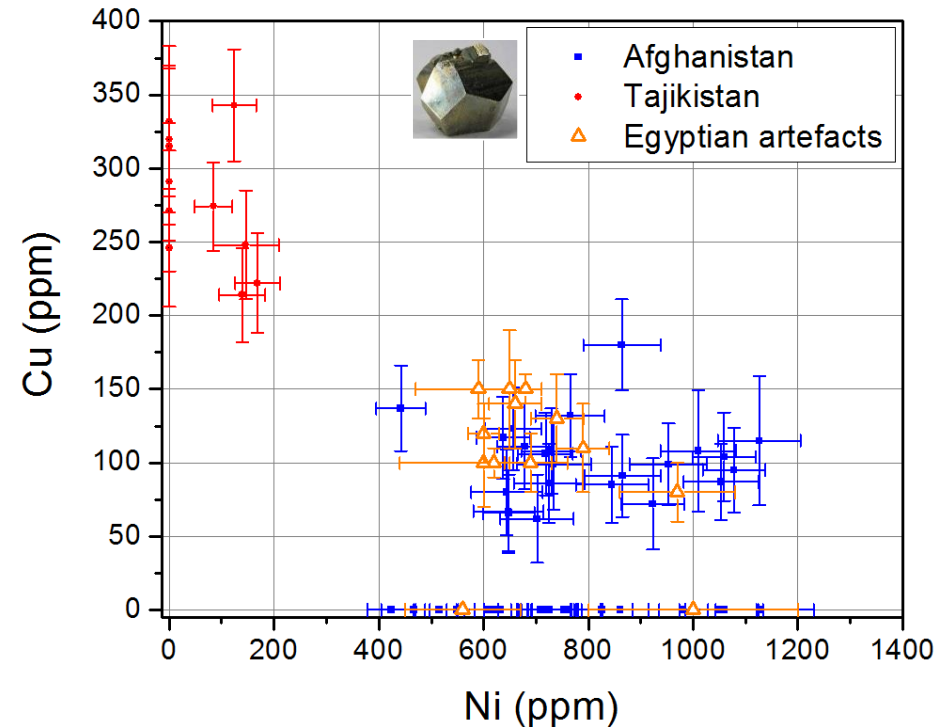
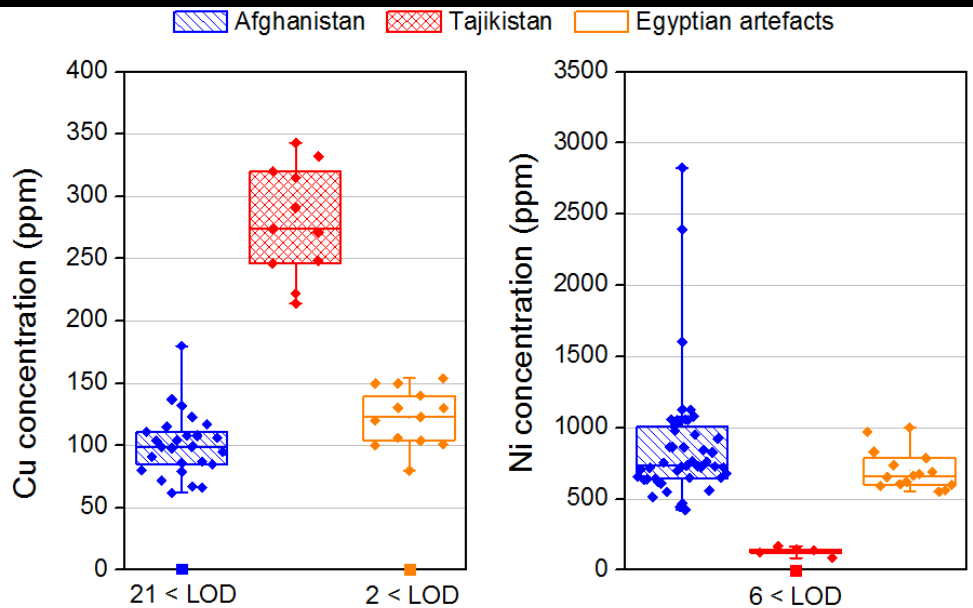
XIV - I secolo a.C.



<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12520-016-0430-0>

# Studio di provenienza del lapislazzuli

10 amuleti del Museo Archeologico Nazionale di Firenze (sezione museo egizio) - XIV - I sec a.C.



*Sulla base delle evidenze analitiche la provenienza risulta essere afghana*

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12520-016-0430-0>

Come è fatto?

Qual è il suo stato di degrado?



# Il Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale"



Centro Conservazione e Restauro  
La Venaria Reale



<http://www.centrorestaurovenaria.it>

# Il Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale"

Arredi lignei



Manufatti tessili  
e cuoio



Arte  
contemporanea  
e Design



Dipinti su tela  
e tavola



Metalli,  
ceramica  
e vetro



Dipinti murali  
e manufatti  
lapidei



<http://www.centrorestaurovenaria.it>



# Il Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale"

Cerca...   

 Centro Conservazione e Restauro  
**La Venaria Reale**

Home Chi siamo Aree Biblioteca Prodotti e servizi News Area Stampa Gallery Contatti Area Riservata

[Home](#) ▸ [Prodotti e servizi](#) ▸ [Indagini scientifiche](#)

## Indagini scientifiche



- Riflettografia infrarossa
- Infrarosso falso-colore
- Transilluminazione ad infrarosso
- Fluorescenza UV
- Ultravioletto riflesso
- Fluorescenza ai raggi x
- Spettrofotometria di riflettanza
- Microscopia ottica
- Microscopia elettronica a scansione
- Spettroscopia a infrarossi
- Videomicroscopia
- Monitoraggio Ambientale
- Reflectance Transformation Imaging

Le attrezzature in uso presso i Laboratori Scientifici e il Laboratorio di Imaging possono essere utilizzate per attività di diagnostica sui beni culturali anche al di fuori degli interventi di conservazione e restauro condotti dal Centro.

Lo studio della **tecnica esecutiva**, dello **stato di conservazione** e dei **materiali costitutivi** (compreso il riconoscimento dei pigmenti) può essere effettuato tramite **tecniche di indagine non invasiva**, quali la [riflettografia infrarossa](#), l'[infrarosso falso-colore](#), la [transilluminazione ad infrarosso](#), la [fluorescenza UV](#), l'[ultravioletto riflesso](#), la [fluorescenza indotta dai raggi X \(XRF\)](#), la [spettrofotometria di riflettanza](#), la [videomicroscopia portatile](#). Una tecnica innovativa di diagnostica multispettrale ([Reflectance Transformation Imaging](#)) consente inoltre di studiare la morfologia superficiale di qualunque genere di manufatto.

L'indagine sui materiali può essere approfondita mediante l'**analisi stratigrafica** completa su microframmento (preparazione di sezioni lucide, [microscopia ottica](#) in luce visibile e in fluorescenza UV, [microscopia elettronica a scansione \(SEM\)](#), analisi elementale con microsonda EDS, analisi dei leganti e delle

# Il Centro Conservazione e Restauro “La Venaria Reale”

I laboratori scientifici (l'attuale responsabile è un fisico)



<http://www.centrorestaurovenaria.it>

# Il Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale"

## Esempi di opere restaurate



Sculture lignee giapponesi dal Museo d'Arte Orientale di Torino



«La crocifissione» del Tintoretto

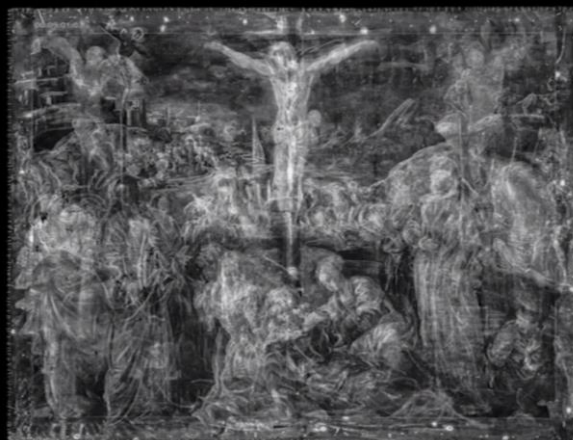
«Il crocifisso miracoloso» di Donatello

Sarcofagi dell'antico Egitto (Museo Egizio di Torino)



<http://www.centrorestaurovenaria.it>

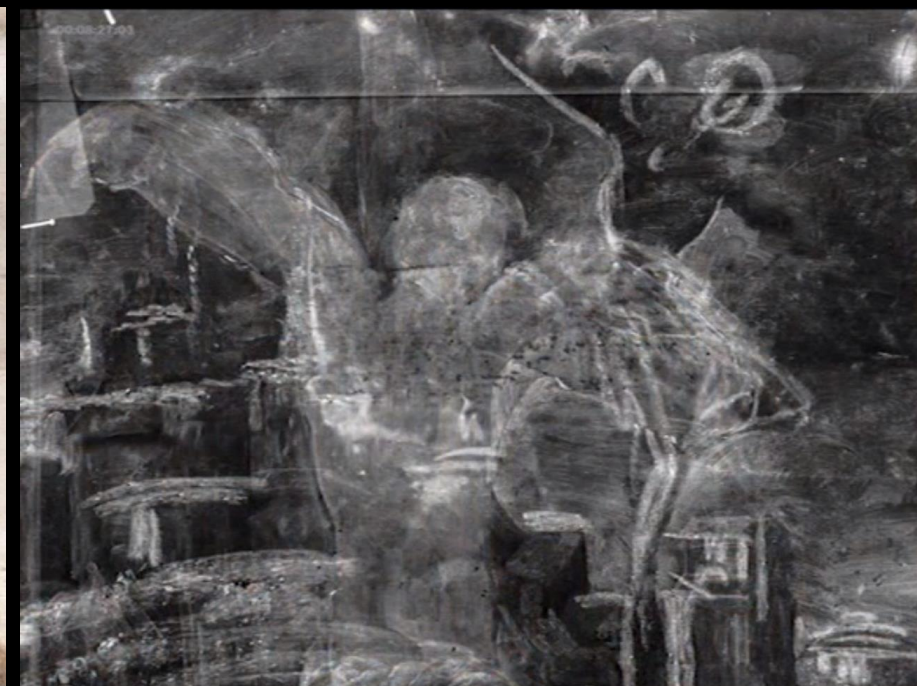
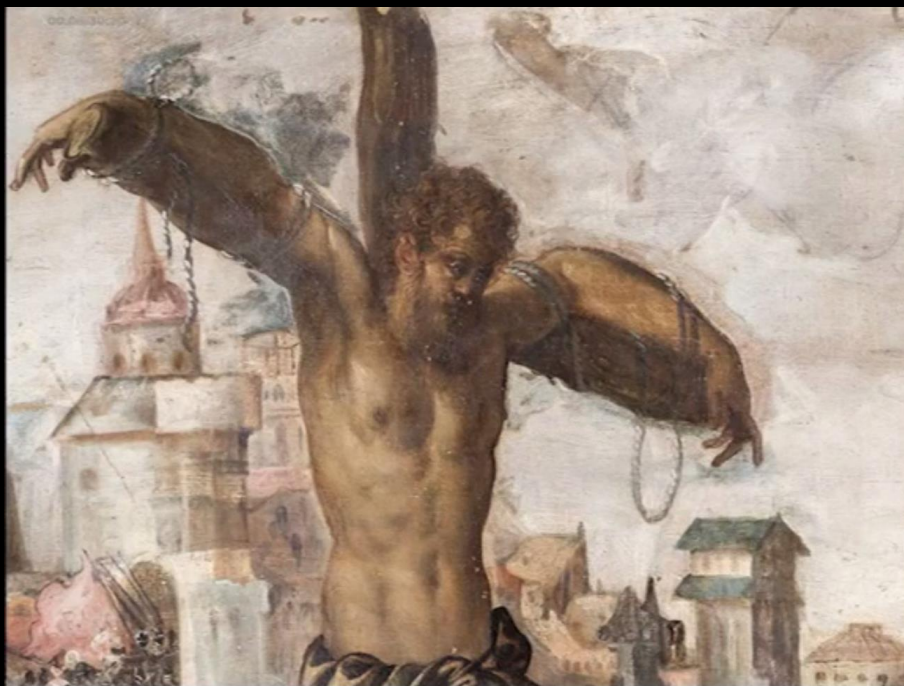
# Il Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale"



**Tintoretto**  
**«Crocifissione»**  
Musei Civici di Padova

2.06 m x 2.68 m

<https://www.youtube.com/watch?v=v97vfatYDU8>



# Radiografia

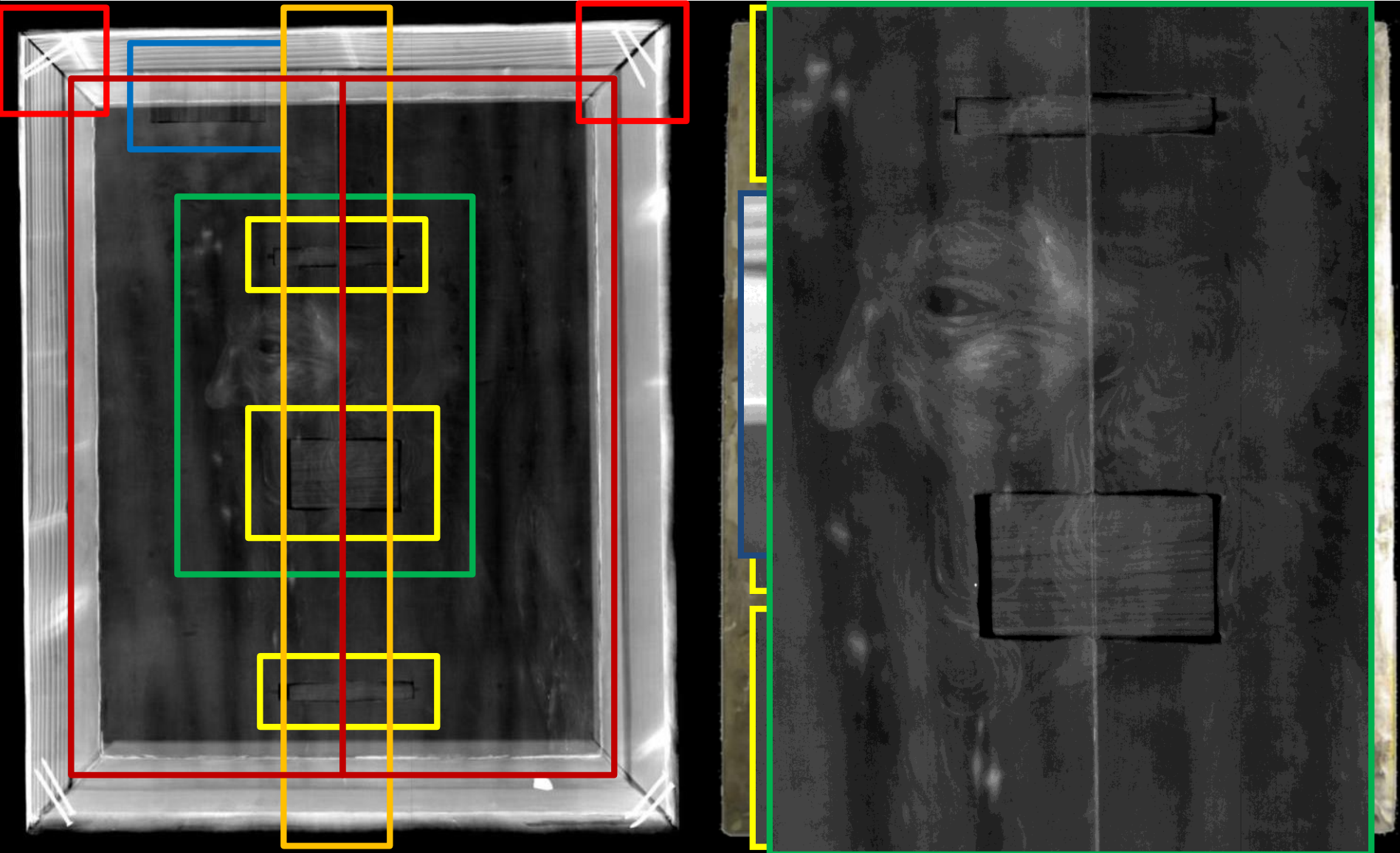
Copia di dipinto su tavola  
di Gentile da Fabriano  
(dimensioni: 41 x 30 cm ; spessore: 4 cm)

- Tecnica costruttiva del supporto e della cornice
- Discriminazione qualitativa dei materiali pittorici usati
- Valutazione dello stato di conservazione

Icona realizzata dagli allievi della  
scuola di Alta Formazione del



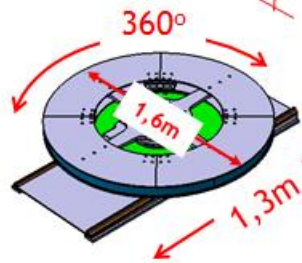
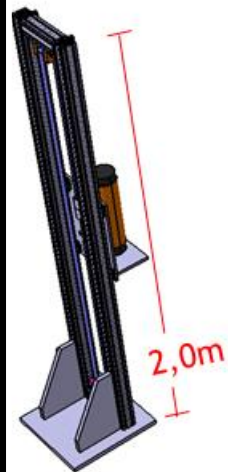
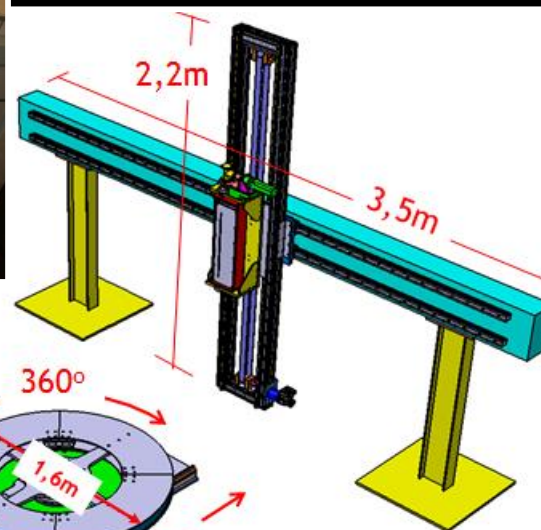
# Radiografia



# Progetto neu\_ART finanziato da



Centro Conservazione e Restauro  
La Venaria Reale



*Sviluppo e realizzazione di uno scanner a raggi-X per la radiografia e tomografia di oggetti di grandi dimensioni*



# L'apparato radio-tomografico

Radiografie e ricostruzione TAC

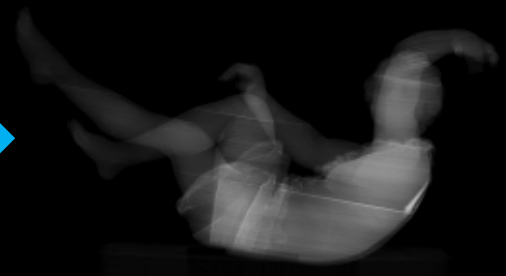
Cluster



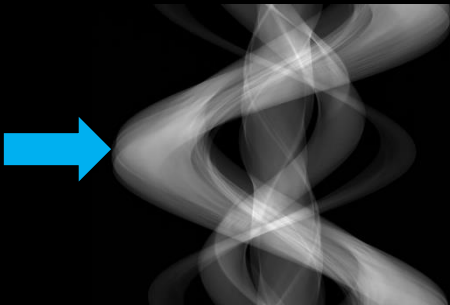
Immagine grezza



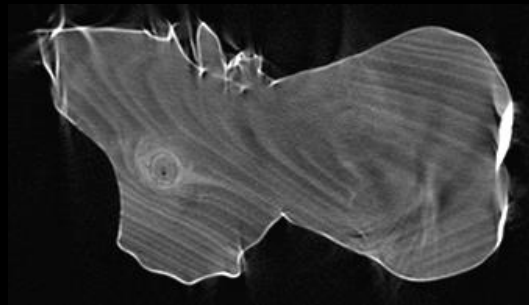
Immagine corretta



Sequenza



Sinogramma



Sezione orizzontale  
ricostruita



CT 3D rendering



# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



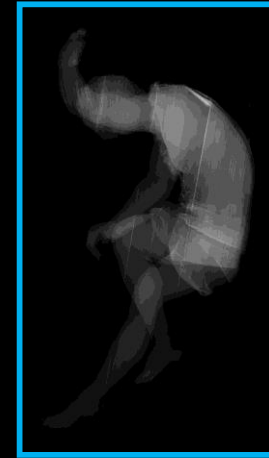
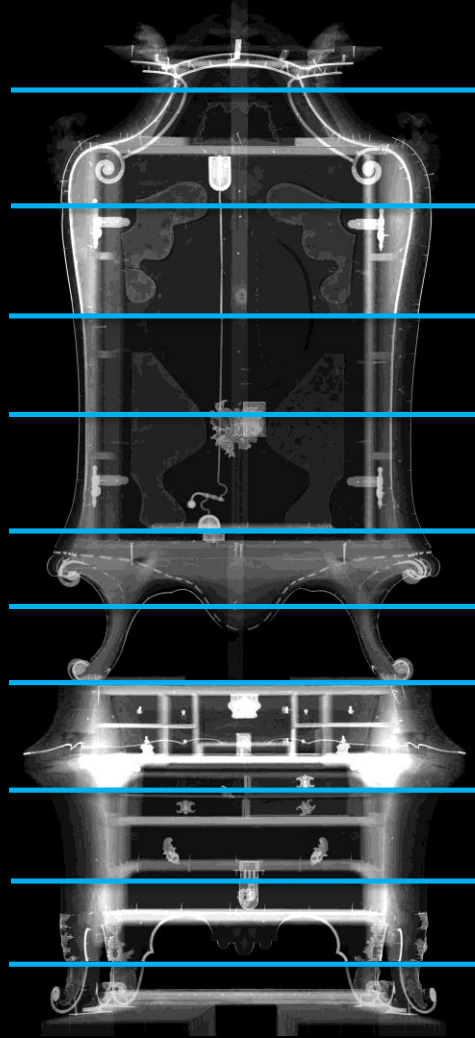
- Pietro Piffetti: uno dei più famosi ebanisti Europei del XVIII secolo (corte dei Savoia)
- “Doppio corpo”: parte delle collezioni del Palazzo del Quirinale a Roma
- Realizzato con legni esotici, avori policromi, madreperla e tartaruga
- Dimensioni:  $312 \times 128 \times 62 \text{ cm}^3$

## Perchè una tomografia?

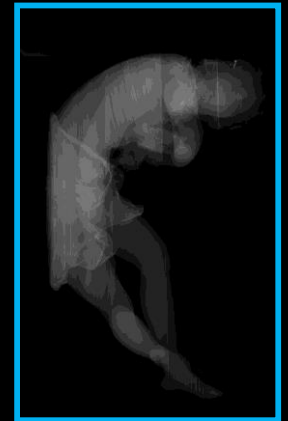
- Tecnica costruttiva
- Stato di conservazione
- Precedenti interventi

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



Radiografie  
delle  
13 sezioni  
orizzontali



<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



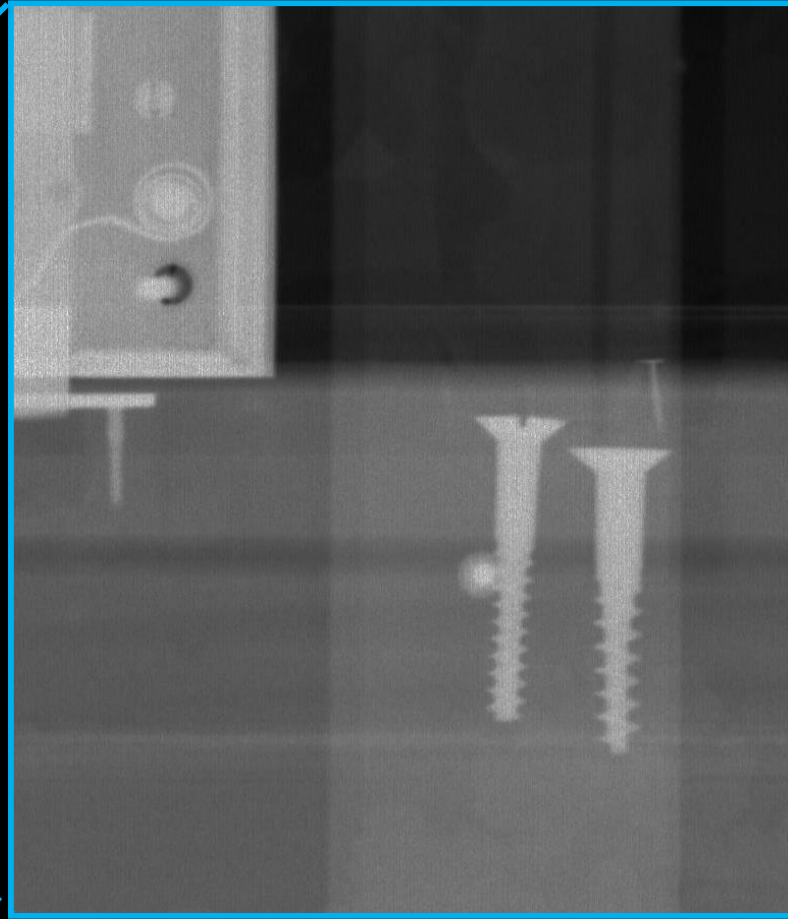
- Dimensioni: 129 x 59 x **312 cm<sup>3</sup>**
- Sezioni orizzontali: 13
- Radiografie/sezione: 720
- Radiografie totali: 9360
- Risoluzione: 10500x2560 pixel<sup>2</sup>
- Dimensioni pixel: **200 μm**
- Area scansionata: 2.1 x 0.5 m<sup>2</sup>
- Output: 12 bit
- Dimensione immagini: 51,3 MB
- Spazio sul disco: **437 GB**
- Tempo medio per sezione: 10 ore
- Tempo totale: **5,6 giorni**

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



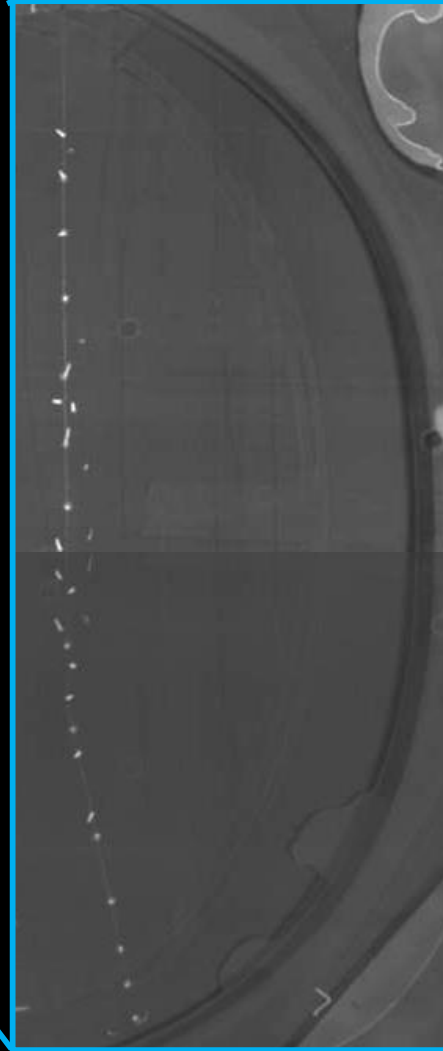
## Interventi precedenti



Radiografia:  
le viti sono  
diverse e più  
recenti di  
quelle usate  
da Pietro  
Piffetti in altre  
opere

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



## Interventi precedenti

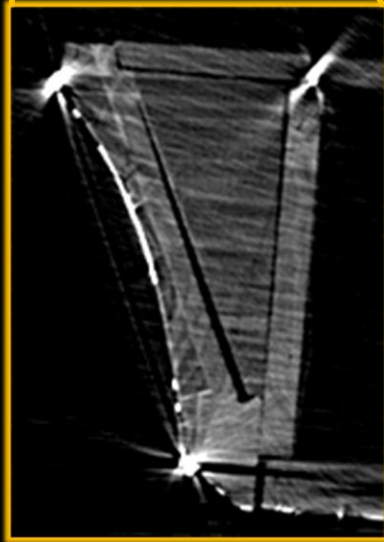
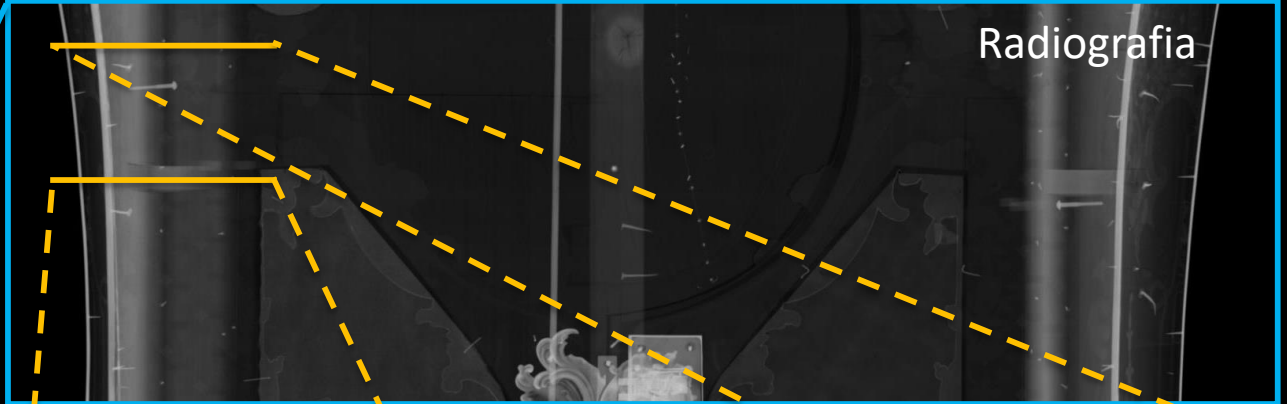
Radiografia:  
fila di chiodini (non  
visibili né dall'esterno  
né dall'interno) per  
fissare una frattura  
longitudinale del  
supporto ligneo della  
placca in avorio  
dell'anta destra

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



## Tecnica costruttiva



Ricostruzione CT:  
sezioni orizzontali

tre distanziali  
triangolari inseriti  
nel fianco



<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

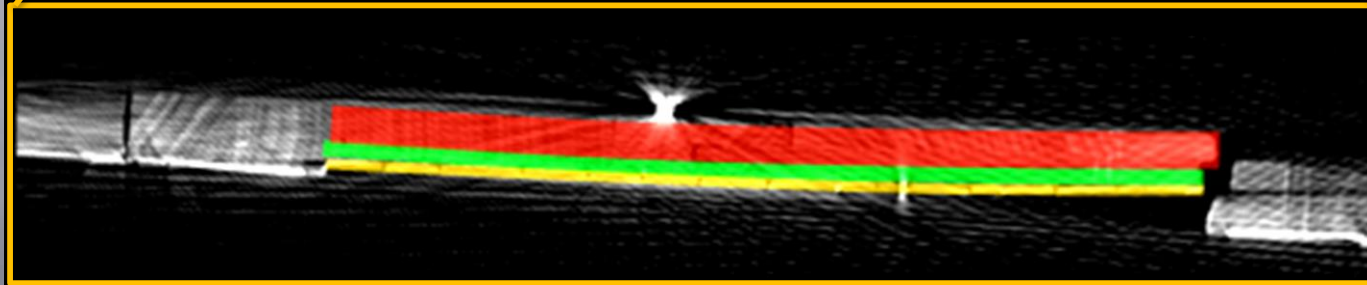
# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



## Tecnica costruttiva



Ricostruzione CT: sezione orizzontale



Strato 1: impiallacciatura in avorio (spessore 0.5 cm)

Strato 2: sottile supporto in legno (spessore 1 cm)

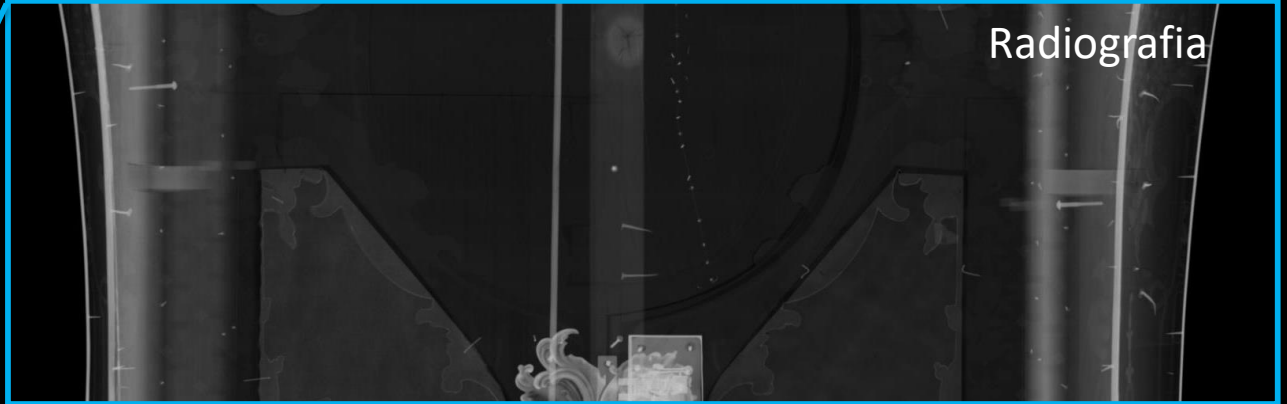
Strato 3: supporto ligneo

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

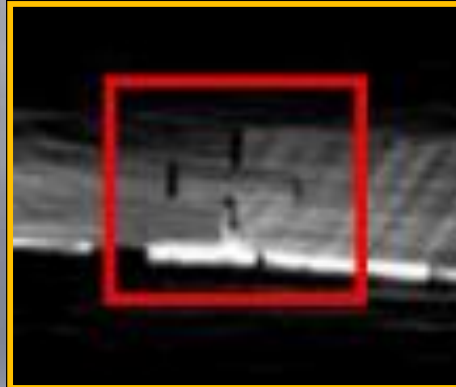
# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



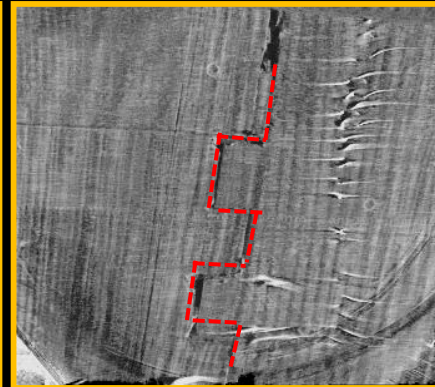
## Tecnica costruttiva



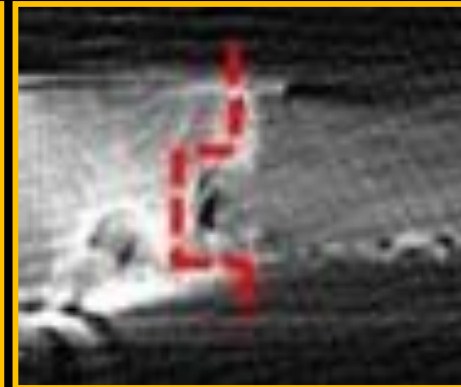
## Ricostruzione CT: tipi differenti di giunzioni



a linguetta riportata



a denti



a dente e canale

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

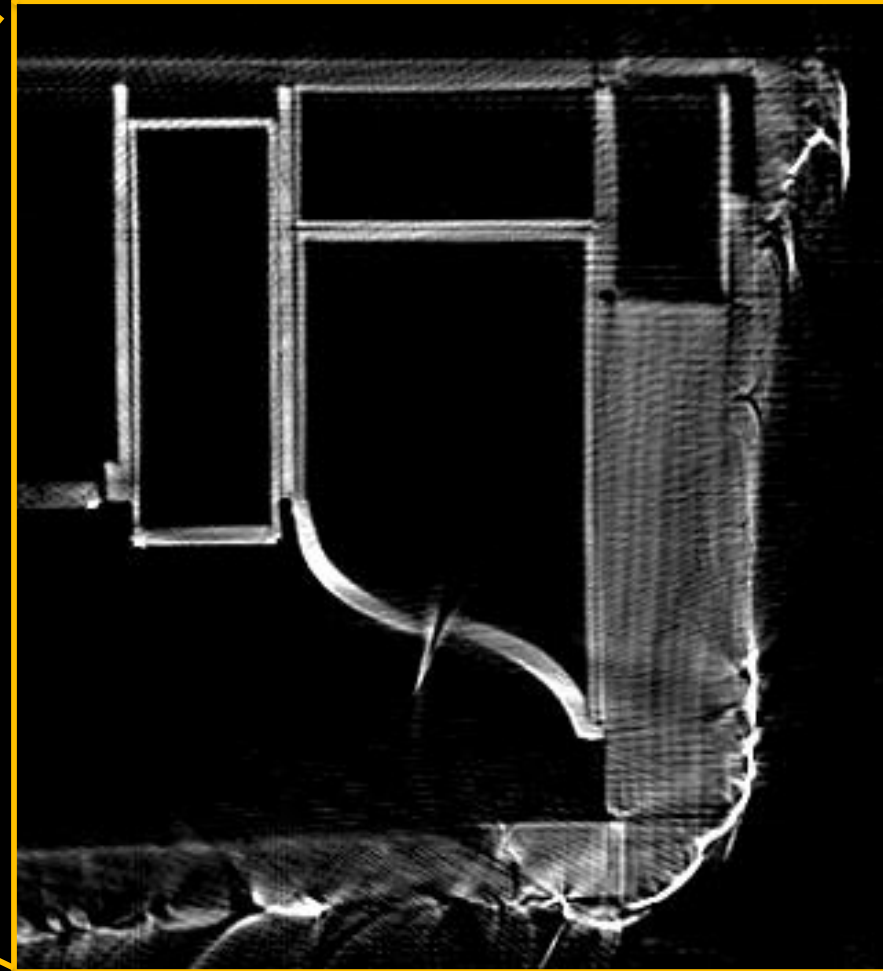


# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti

## Tecnica costruttiva



Ricostruzione CT:  
sezione orizzontale  
cassetti e vani segreti

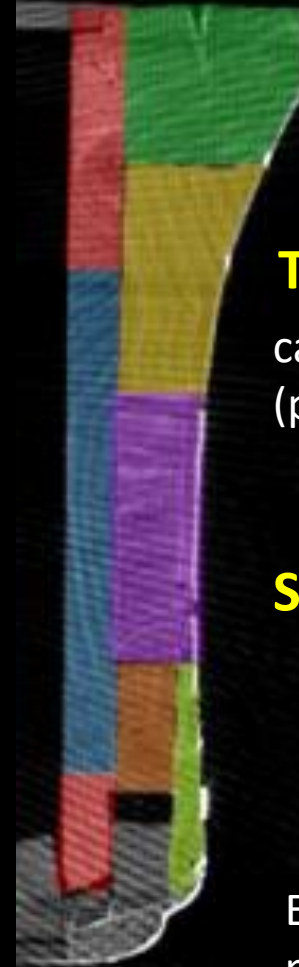


<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



Ricostruzione CT: sezione orizzontale



## Tecnica costruttiva

cavità e masselli più chiari  
(probabilmente in legno di noce)

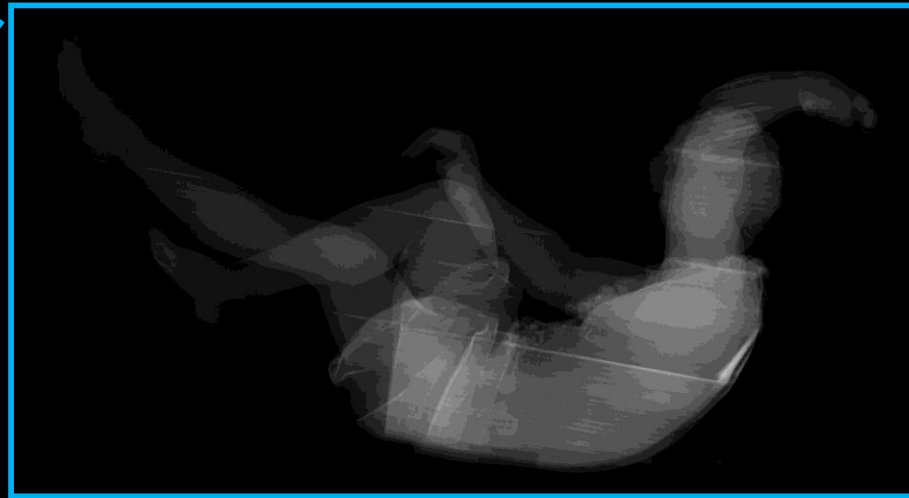
## Stato di conservazione

fori da insetti xilofagi

Evidenziati i differenti  
masselli di legno

<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti

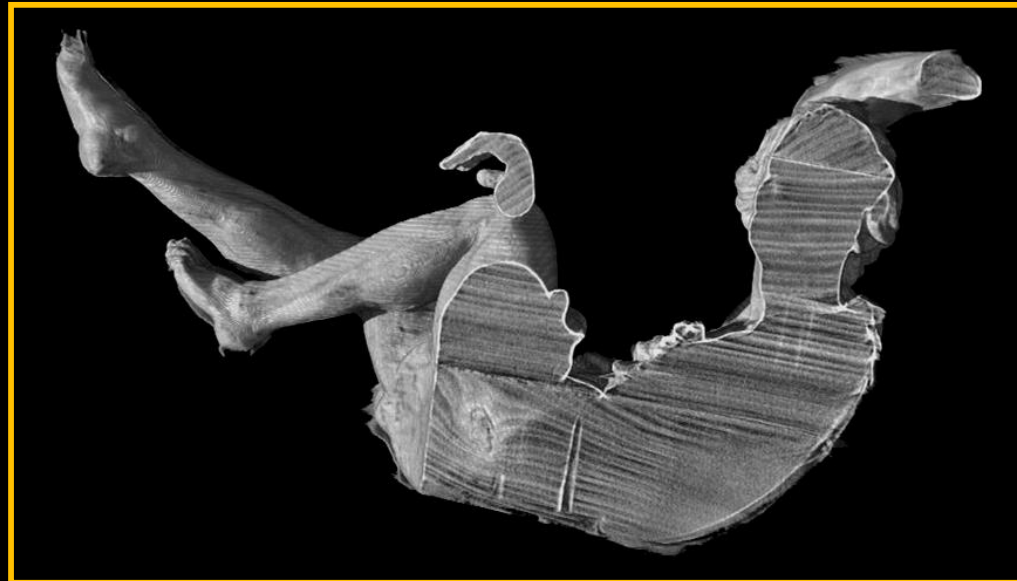


Radiografia

**Tecnica costruttiva**

Ricostruzione  
CT:  
rendering 3D

costituito da più  
masselli incollati  
insieme

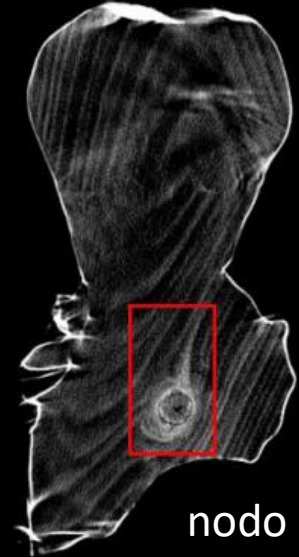
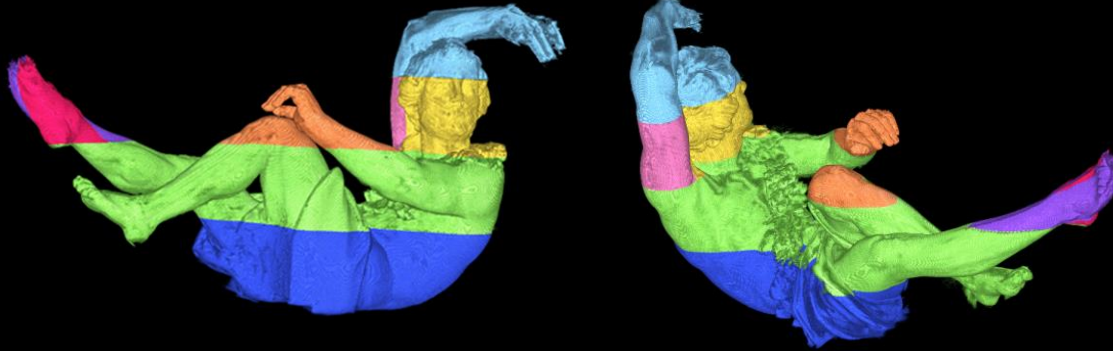


<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

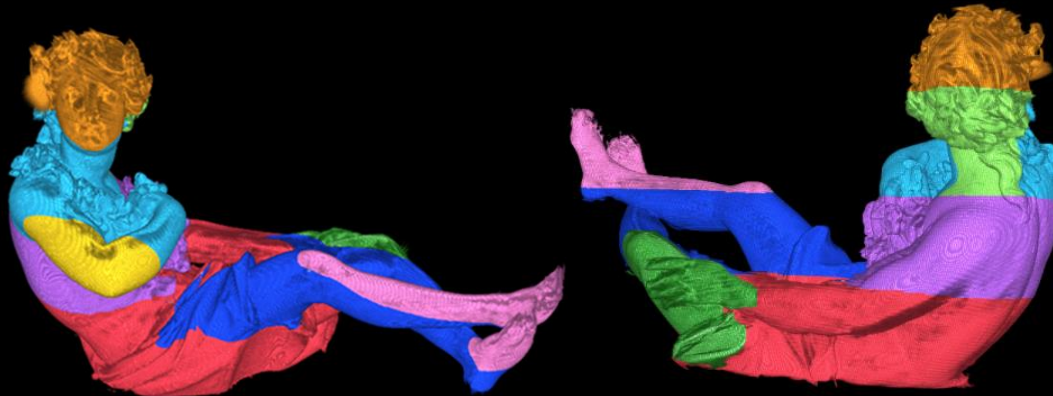
# Tomografia: il “Doppio Corpo” di Pietro Piffetti



## Tecnica costruttiva



Ricostruzione CT : 3D rendering  
evidenziati i differenti masselli di legno

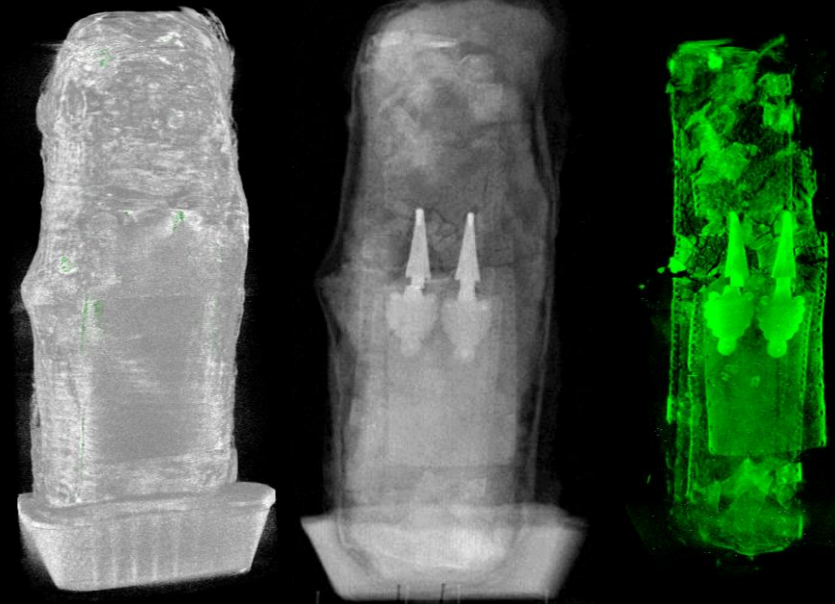
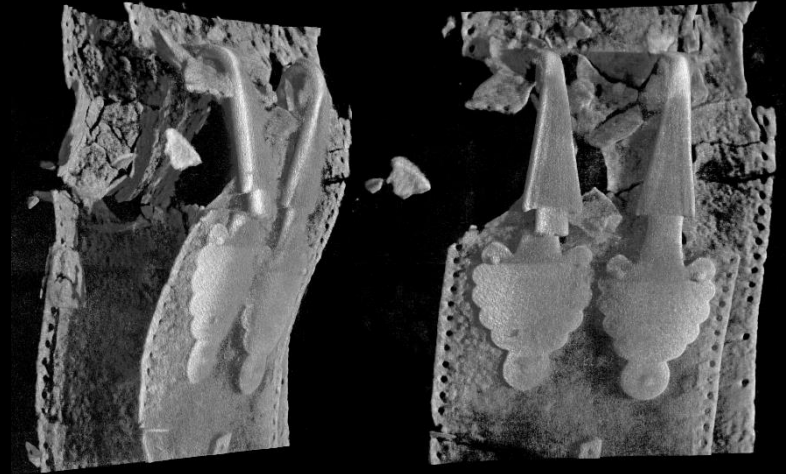


<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-014-0019-9>

# Tomografie



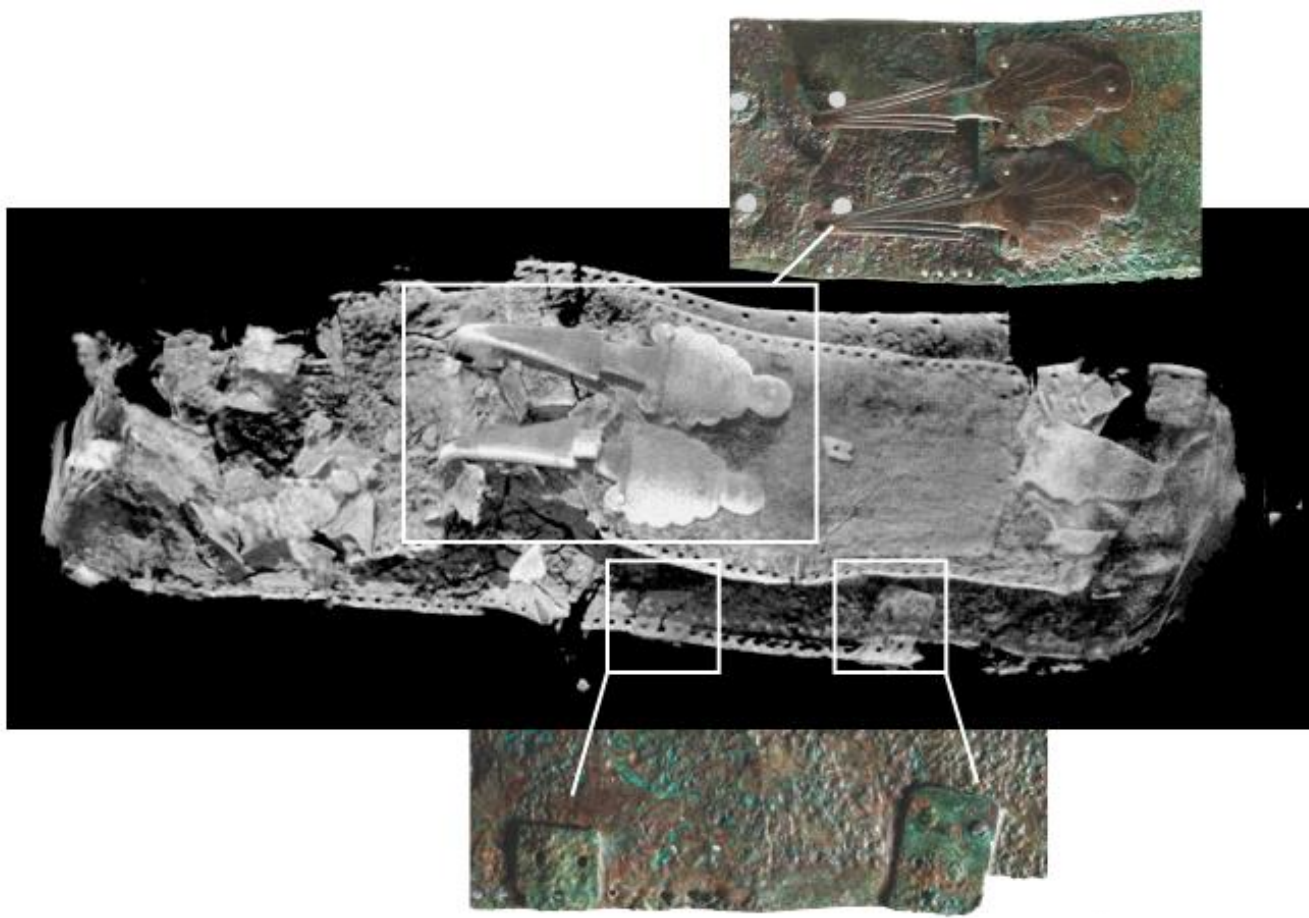
Pane di terra  
da scavo  
archeologico



<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-015-0033-6>

# Tomografie

Ricostruzione tomografica (che al contrario della radiografia fornisce informazioni tridimensionali) con cui è stato possibile estrarre “virtualmente” l’oggetto dal pane di terra



*Frammenti estratti*



*Dopo il restauro*



# *Il nostro gruppo, tesisti e dottorandi*



**Alessandro Lo Giudice (professore)**

Ufficio:

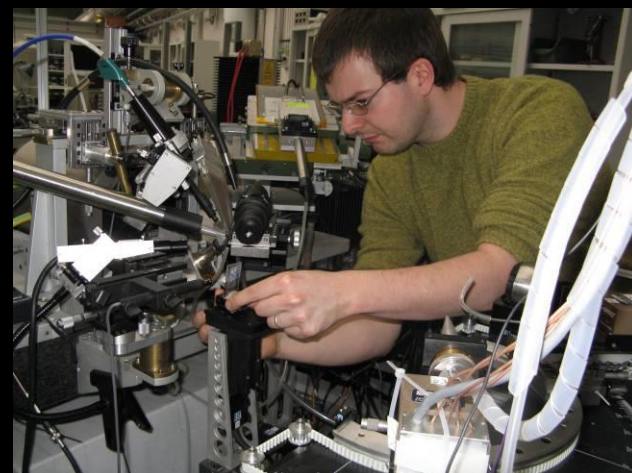
Via Pietro Giuria 1

Telefono:

011.670.7378

Sito internet:

[www.solid.unito.it](http://www.solid.unito.it)



**Alessandro Re (ricercatore)**

**Fondamentale per la ricerca l'apporto di:**

**Laureati su tematiche nel campo dei beni culturali con relatori del Dipartimento di Fisica (escluso restauratori): 102 (dal 2004 al 2017)**

– Fisica –

triennale: 8 (di cui 2 tesi esterne)

magistrale: 7

– Scienza e Tecnologia per i Beni Culturali –

triennale: 53 (di cui 27 tesi esterne)

magistrale: 34 (di cui 9 tesi esterne)

**Dottorandi su tematiche nel campo dei beni culturali : 4 (dal 2006 al 2017)**

# Il trasferimento tecnologico

**TecnArt**  
Tecnologia e ricerca per *l'Arte*

Home Chi Siamo Servizi Collaborazioni Contatti English

**Storia**

**TecnArt**  
Tecnologia e ricerca per *l'Arte*

Tecnart S.r.l. offre una serie di servizi dedicati all'autenticazione e datazione di reperti, all'analisi dei materiali costituenti un'opera d'arte e allo studio del suo stato di conservazione. I risultati permettono di avere maggiori informazioni sull'oggetto in analisi, contribuendo ad esempio ad una corretta pianificazione degli interventi di restauro o ad offrire una certificazione oggettiva del valore di un'opera. Pertanto i servizi si rivolgono sia alle istituzioni pubbliche sia al settore privato

TecnArt S.r.l. è uno Spin off Accademico dell'Università degli Studi di Torino che opera nel settore della diagnostica scientifica applicata ai Beni Culturali, attività nata e sviluppata in stretto contatto con la ricerca universitaria e di cui ne rappresenta il trasferimento tecnologico. L'intento è quello di applicare le metodologie e le tecnologie scientifiche al settore dei Beni Culturali per riuscire a conoscere, conservare e valorizzare i beni storico-artistici, garantendo una continua evoluzione delle metodologie di indagine e l'ottimizzazione di strumentazioni per lo studio delle varie tipologie di manufatti.

**Promotori**

**Università degli Studi di Torino**  
Incubatore di Imprese

**Università degli Studi di Torino**  
Settore Ricerca e Internazionalizzazione

[www.tecnart.unito.it](http://www.tecnart.unito.it)



**Fulvio Fantino**



**Debora Angelici**

Spin-off Accademico dell'Università di Torino (32 spin-off attivi)  
(costituito nel giugno 2012, con sede presso il Dipartimento di Fisica)



# Ringraziamenti e collaborazioni



Università di Torino

Dipartimento di Fisica  
Dipartimento di Chimica  
Dipartimento di Scienze della Terra  
Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi...



INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) →

Sezione di Torino  
Sezione di Firenze (LABEC)  
Laboratori Nazionali di Legnaro...



Università del Piemonte Orientale

Università di Firenze

Università di Bologna

Università di Ferrara



CCR (Centro di Conservazione e Restauro) "La Venaria Reale"

Soprintendenza per i Beni Archeologici del Piemonte

INRiM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica)

CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche)

C2RMF (Centre de recherche et de restauration des musées de France) - Parigi

Museo di Antropologia ed Etnografia dell'Università degli Studi di Torino

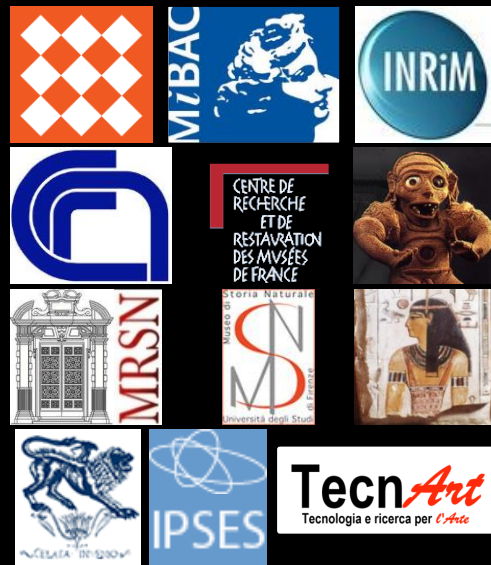
Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino

Museo di Storia Naturale di Firenze

Museo Egizio di Firenze

Fondazione ing. Carlo Maurilio Lerici

IPSES - Milano; Tecart - Torino



***Grazie per l'attenzione***