



## Tomografie a raggi X su materiali archeologici e artistici

Maria Pia Morigi, Matteo Bettuzzi, Rosa Brancaccio, Fauzia Albertin

Dipartimento di Fisica e Astronomia – Università di Bologna

INFN – Sezione di Bologna

Centro Studi e Ricerche «Enrico Fermi» - Roma

## La Tomografia Computerizzata con raggi X

Tecnica diagnostica non distruttiva in grado di fornire informazioni di tipo fisico e morfologico sulla struttura interna degli oggetti analizzati, superando un importante limite della radiografia, ovvero la sovrapposizione in un'unica immagine di elementi appartenenti a strati diversi dell'oggetto.

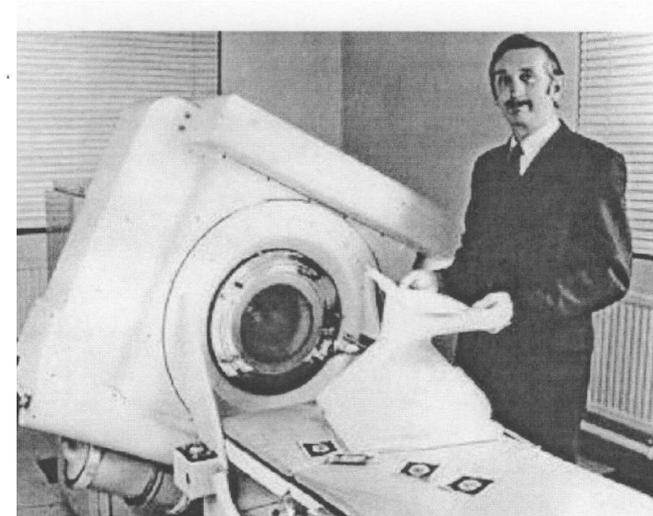
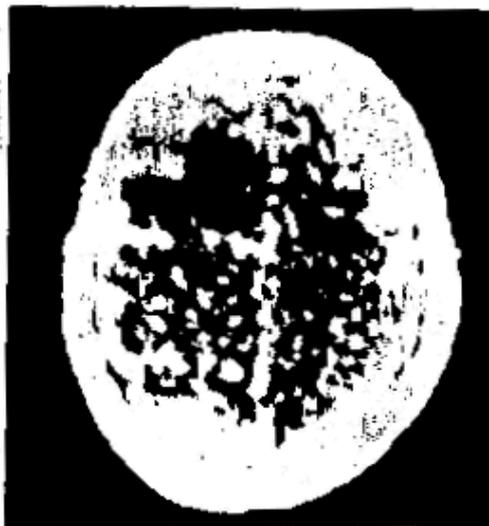
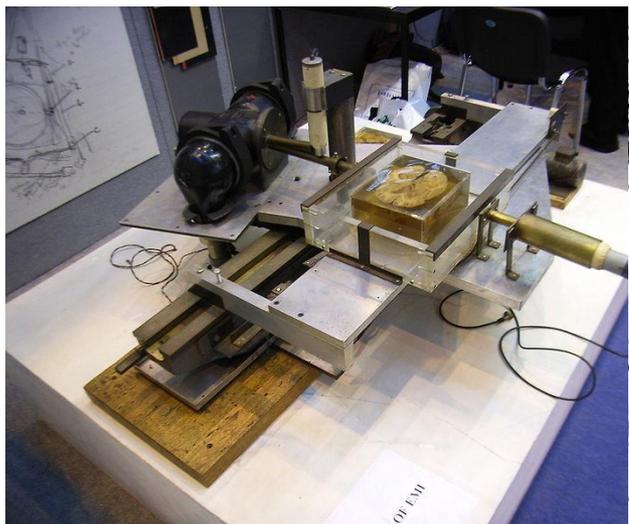


Immagini digitali di sezioni dell'oggetto (le cosiddette *slice*) e rendering 3D

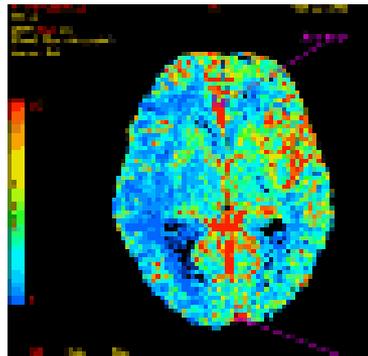
Esempio di rendering 3D di dati tomografici riferiti al *Kongo Rikishi*, statua lignea giapponese del XIII secolo.

## Il primo tomografo (1971)

Il primo tomografo per uso clinico («EMI Mark I scanner») fu sviluppato dall'ingegnere britannico Godfrey Hounsfield nei laboratori di ricerca della ditta EMI (Regno Unito) e installato presso l'Atkinsons Morley's Hospital di Wimbledon (Londra). Il tempo di scansione per una *slice* era di 4 minuti, con risoluzione spaziale nel piano x-y di circa 3 mm per un campo di vista di 25 cm.



# Tomografi medicali



## Tomografia X e Beni Culturali

La Tomografia X viene applicata sempre più frequentemente nel campo dei Beni Culturali non solo per la diagnostica preliminare ad un intervento di restauro, ma anche per acquisire conoscenze sulla tecnica costruttiva di un manufatto o di un'opera d'arte.



La maggior parte delle indagini su reperti archeologici o opere d'arte sono state realizzate con scanner medicali.



Gli scanner medicali sono caratterizzati da protocolli e setup ottimizzati per il corpo umano, quindi forniscono ottimi risultati solo in caso di oggetti con dimensioni e densità simili a quelle del corpo umano.

## Tomografia X e Beni Culturali



Il campo dei Beni Culturali è caratterizzato da grande variabilità per quanto riguarda le dimensioni delle opere e il tipo di materiali costituenti.



Scanner medicale non sempre adatto per il caso di studio in esame

Dimensione standard del gantry: 70 cm



Tipico FOV: 55 - 65 cm

## Tomografia X e Beni Culturali

La movimentazione delle opere d'arte risulta spesso problematica.

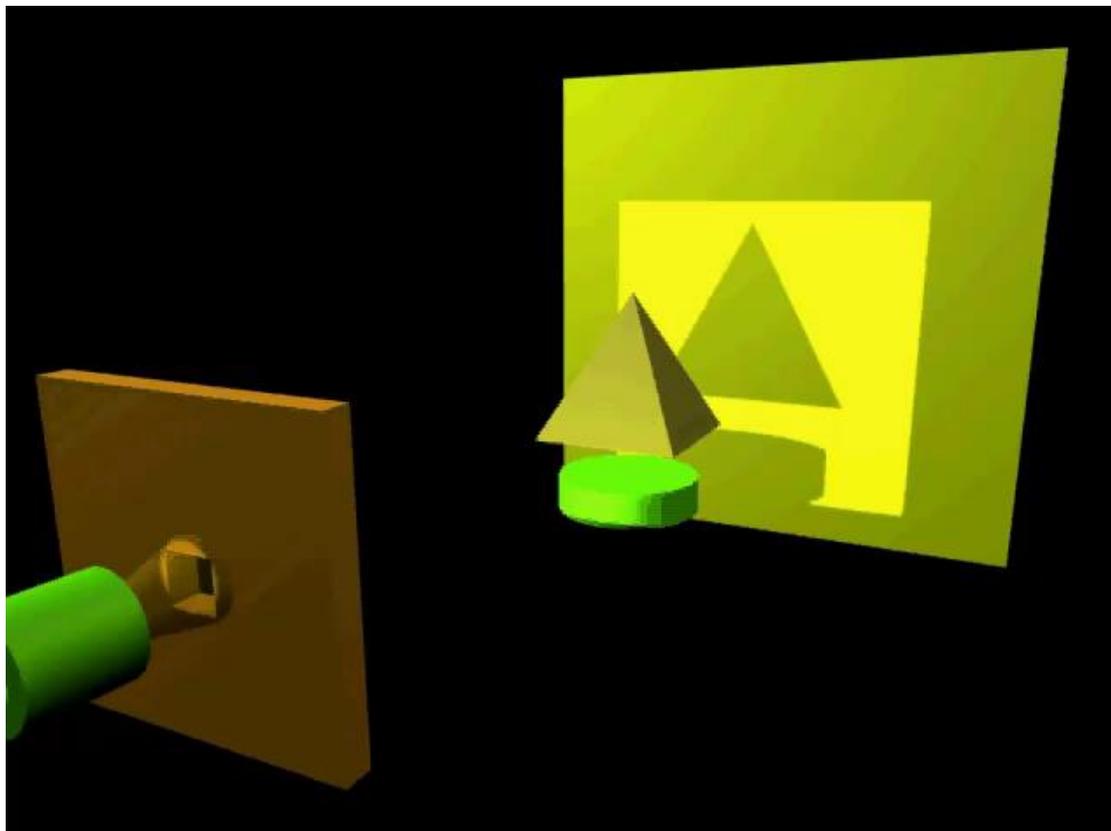


Necessità di sviluppare sistemi mobili e versatili, in grado di effettuare l'analisi tomografica *in situ*, se necessario.



Negli ultimi anni il nostro gruppo di ricerca ha sviluppato vari sistemi tomografici con cui sono state realizzate, sia in laboratorio che *in situ*, analisi su opere d'arte e reperti archeologici di varia natura e dimensioni (da pochi mm ad oltre 2 m), utilizzando sorgenti diverse di raggi X e differenti setup.

## Cone-beam Computed Tomography



# Cone-beam Computed Tomography

## CT di un piccolo busto di argilla

### Dimensioni:

- 9.0 x 7.0 x 7.0 cm<sup>3</sup>

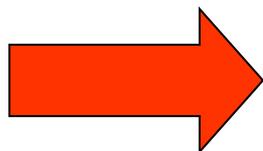
### Parametri acquisizione:

- V: 150 kVp
- I: 1 mA
- Angular steps: 600
- Voxel size: 280 μm

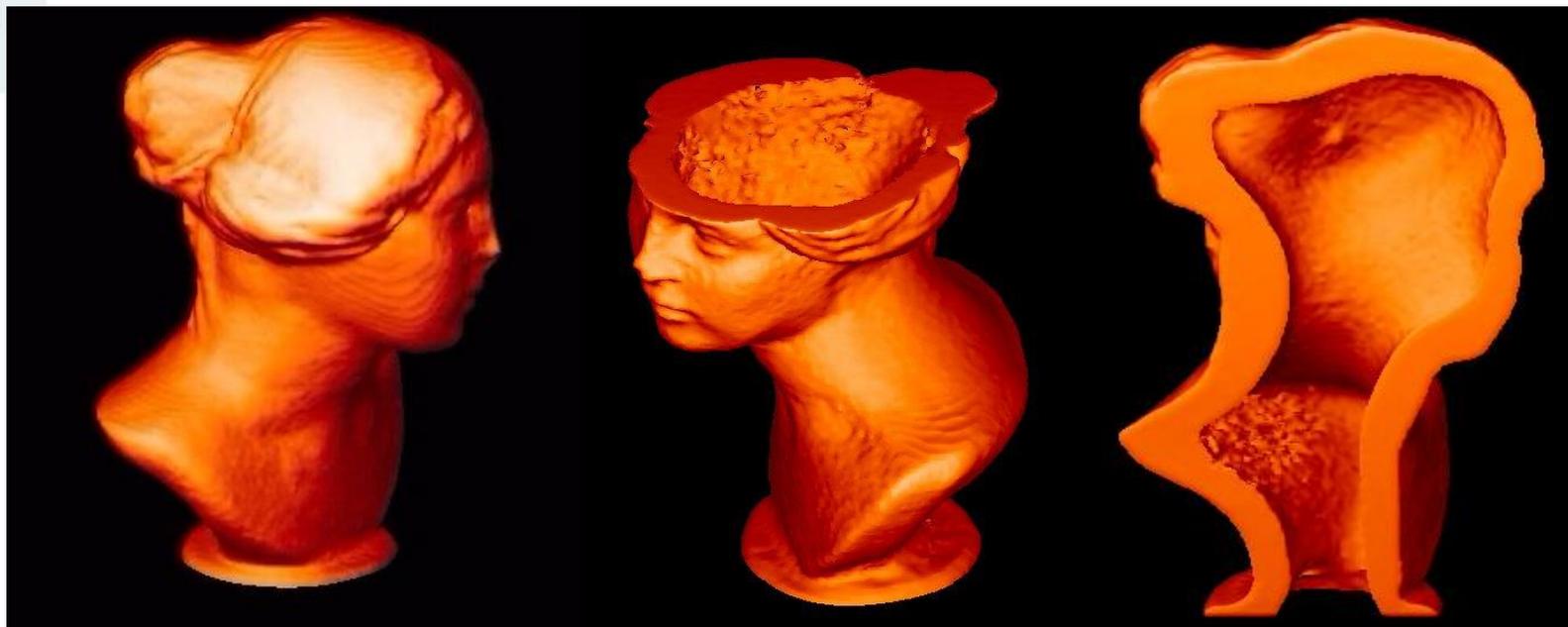


## Cone-beam Computed Tomography

Sequenza di radiografie  
digitali su 360°



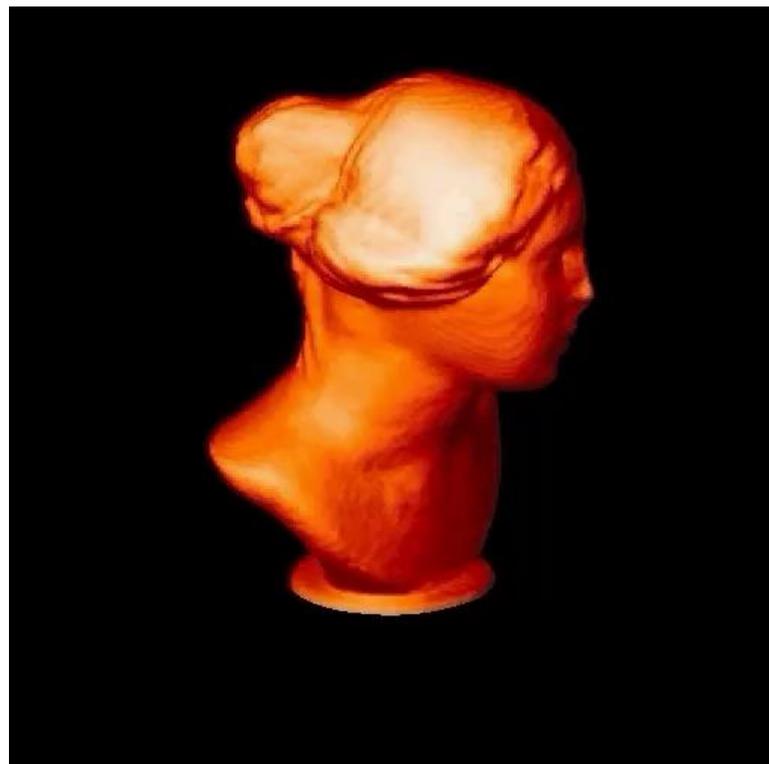
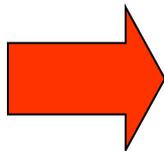
## Cone-beam Computed Tomography



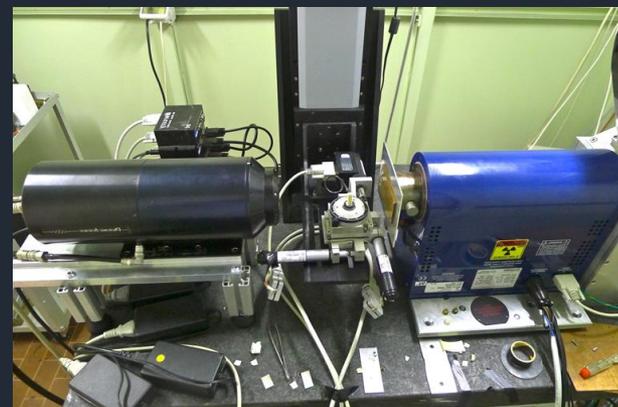
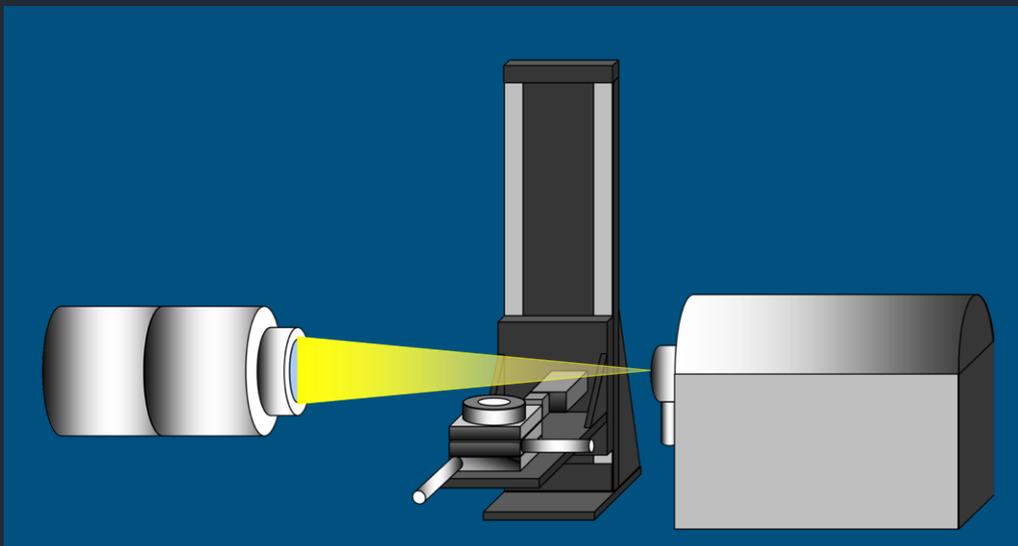
Tagli virtuali del volume ricostruito

## Cone-beam Computed Tomography

Ricostruzione 3D e analisi  
della struttura interna



## La Micro-tomografia



### Camera CCD

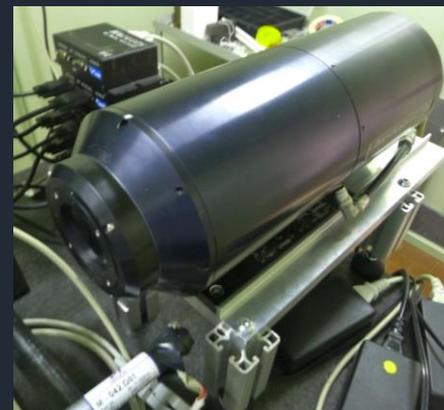
#### Photonics Science camera

- ❖ CCD + FO plate + CsI(Tl)
- ❖ 3.6 x 2.4 cm<sup>2</sup>
- ❖ 4008 x 2672 pixel
- ❖ 9 μm pixel

### Tubo a raggi X microfoco

#### KEVEX PXS10

- ❖ 45-130 kV
- ❖ 0.5 mA
- ❖ 53° beam angle
- ❖ 7-100 μm focal spot

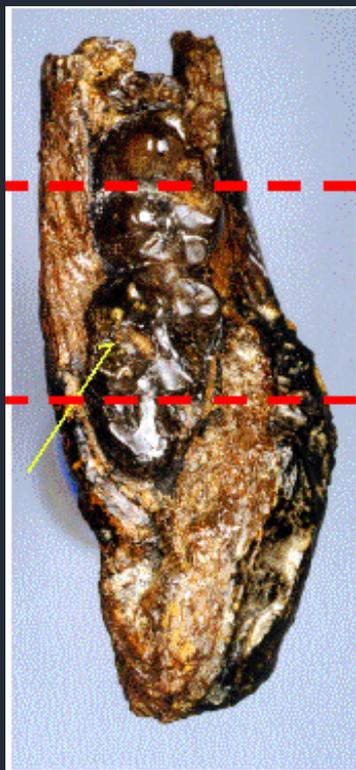


Altissima risoluzione spaziale : < 10 μm

## La Micro-tomografia



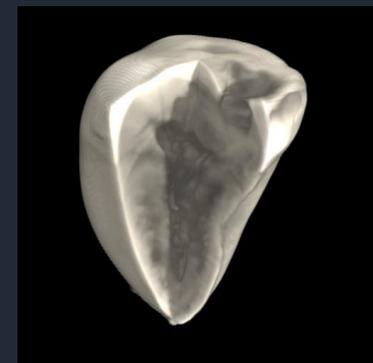
### Studio di lesioni cariose in denti di epoche diverse



Porzione di mandibola fossile di Oreopiteco.

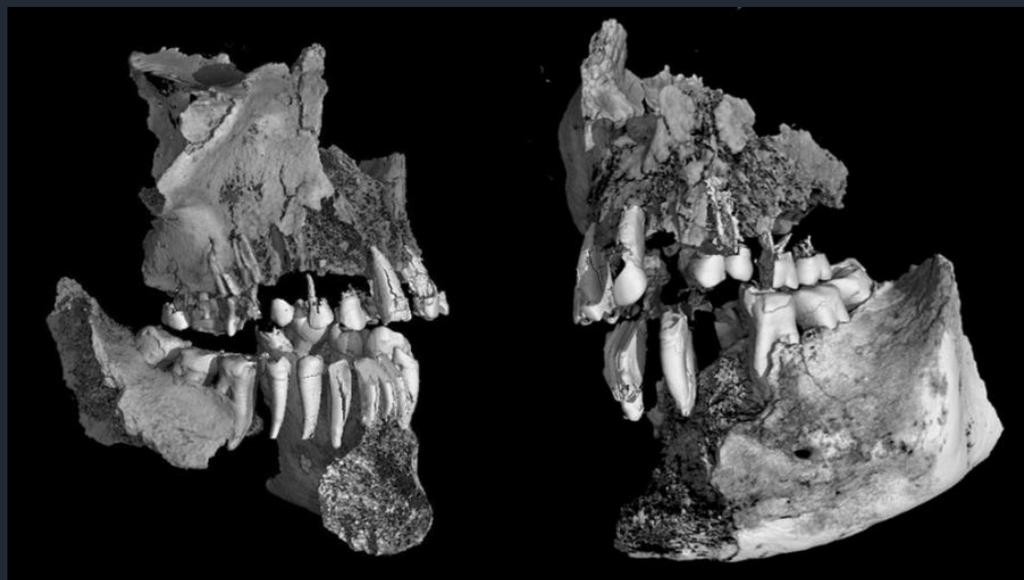


Dente di epoca romana.



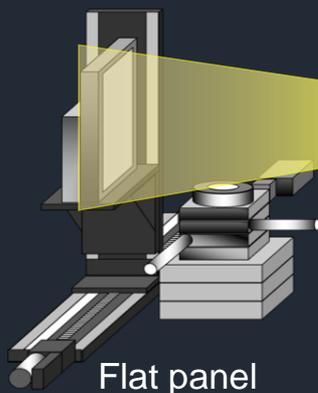
## La Micro-tomografia

▶▶ I resti mandibolari del cantante lirico Farinelli (1705–1782)



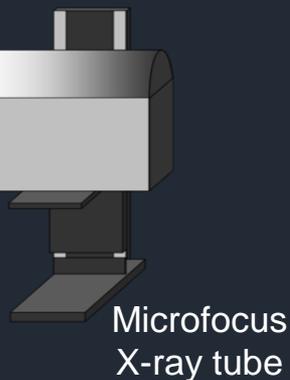
Ricostruzione virtuale della malocclusione di Farinelli

## La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



### VARIAN PS2520D

- ❖ Solid State Detector + CsI:TI scintillator
- ❖ 19.5 x 24.5 cm<sup>2</sup>
- ❖ 1536 x 1920 pixel
- ❖ 127 µm pixel



### KEVEX PXS10

- ❖ Tungsten anode
- ❖ 5-130 kV
- ❖ 0.5 mA
- ❖ 53° beam angle
- ❖ 7-100 µm focal spot



Alta risoluzione: 100 µm

## La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



Studio delle tecniche costruttive delle maschere teatrali giapponesi



## La tomografia di oggetti di medie dimensioni



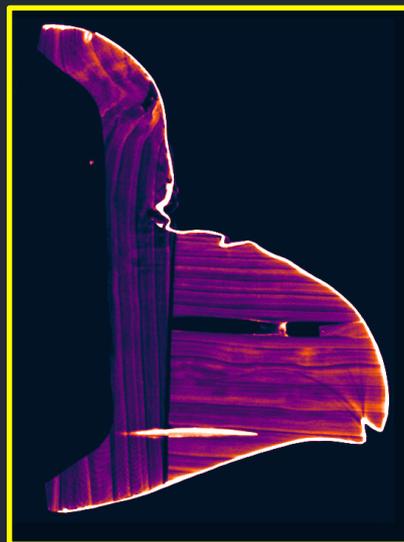
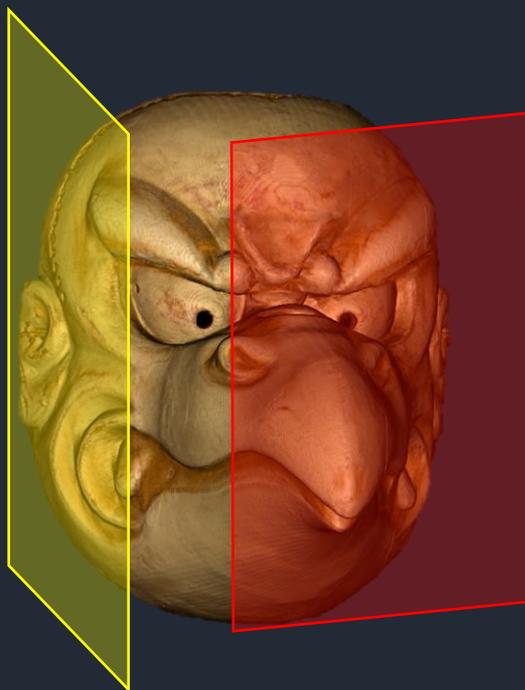
Studio delle tecniche costruttive delle maschere teatrali giapponesi



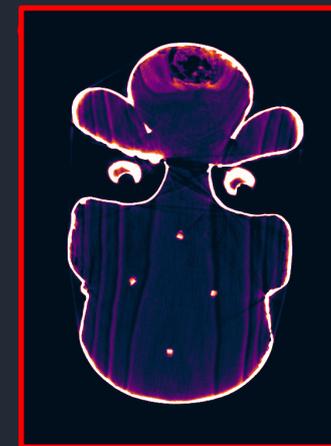
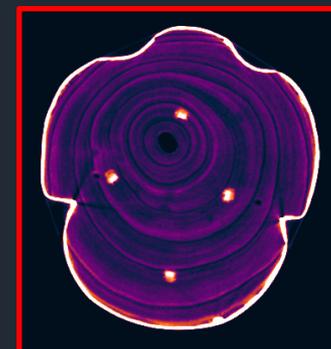
## La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



Studio delle tecniche costruttive delle maschere teatrali giapponesi



Rimozione del midollo  
e presenza di cavicchi



## La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



Indagine tomografica di 4 mummie animali  
del Museo Civico Archeologico di  
Bologna.



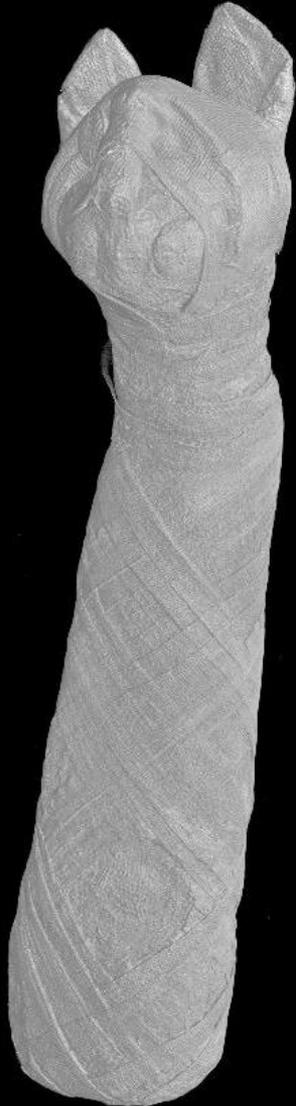
# La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



Mummia di ibis EG 2055

# La Tomografia di oggetti di medie dimensioni

---



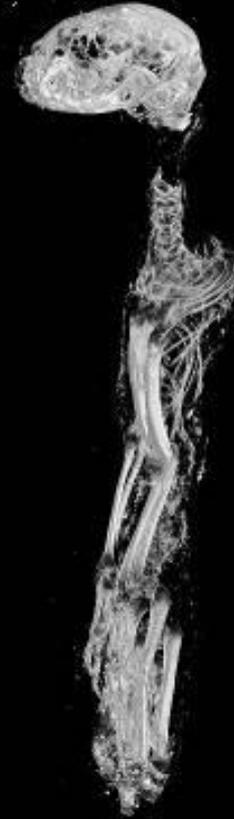
Mummia di gatto avvolta in tele di lino  
cm. 28

Provenienza ignota  
Epoca Tolemaico - Romana  
Collezione Palagi, EG 2039

Le mummie di gatto rappresentavano un'offerta votiva molto comune a Bastet, dea dalla testa felina.

# La Tomografia di oggetti di medie dimensioni

© 00 rex  
Mummia di gatto EG 2039



# La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



## Mummia di falco avvolta in tele di lino cm. 28 x 6,5

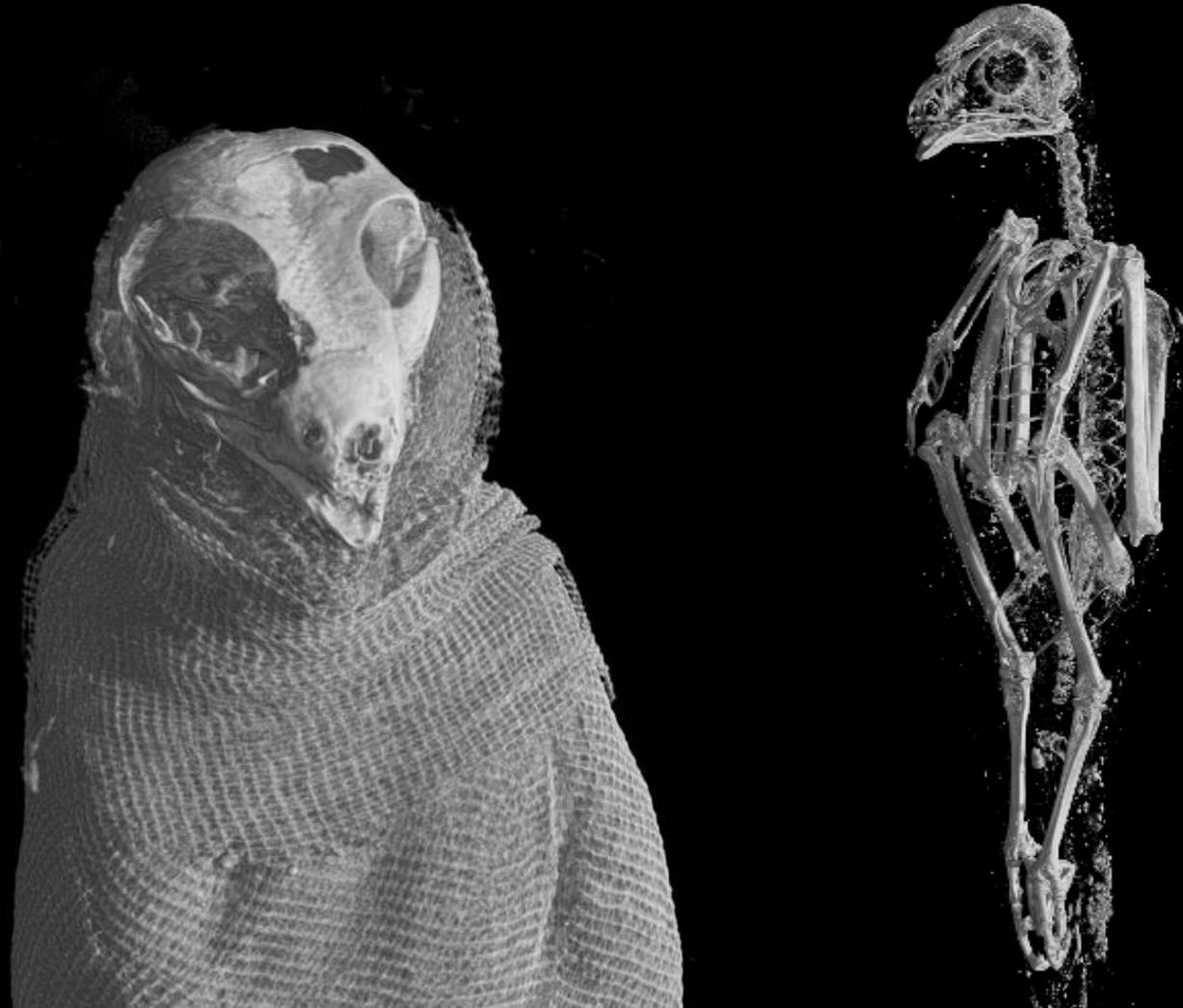
Provenienza ignota  
Epoca Tarda-Epoca Tolemaica  
Collezione Palagi, EG 2050

Il dio Horo a sembianze di falco, strettamente correlato al concetto di regalità, è una delle divinità più importanti del pantheon egiziano.

Questa mummia di falco, ricoperta solo da pochi strati di bende che ne lasciano scoperta la testa, appare integra.

# La Tomografia di oggetti di medie dimensioni

Mummia di falco EG 2050





# La Tomografia di oggetti di medie dimensioni



37 x 10 x 19.5 cm

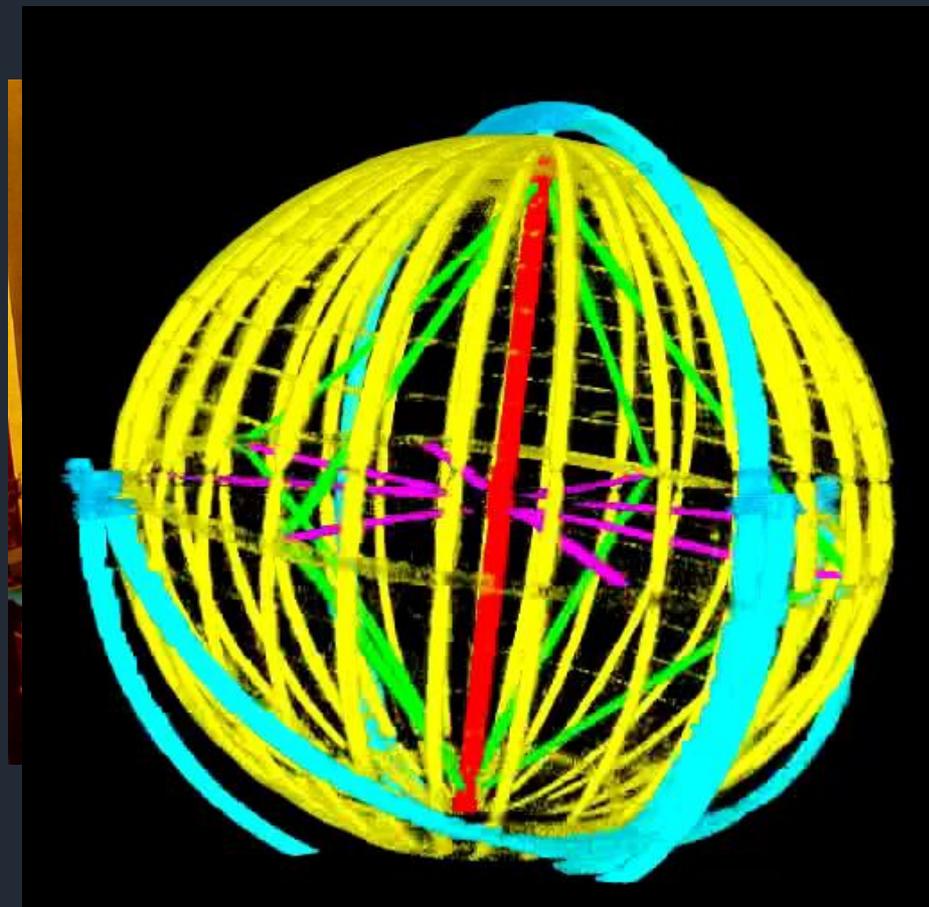
Cofanetto ligneo a forma di gatto  
(Collezione Egizia del Museo  
Archeologico di Bologna).



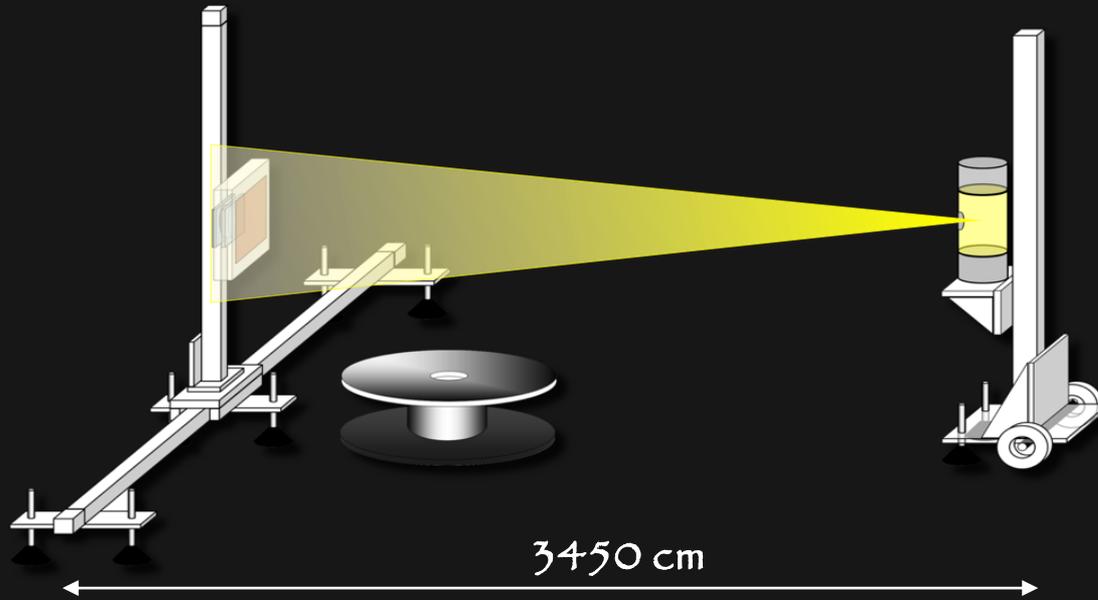
## La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni



La “Sala delle Carte geografiche” all’interno di Palazzo Vecchio, con il grande globo terrestre realizzato da Egnazio Danti nel 1567 per Cosimo I de’ Medici, duca di Firenze.



## La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni



X-ray detector

### HAMAMATSU C10900D

- ❖ Solid State Detector + CsI:Tl scintillator
- ❖ 12 x 12 cm<sup>2</sup>
- ❖ 1216 x 1232 pixel
- ❖ 100 µm pixel

X-ray tube

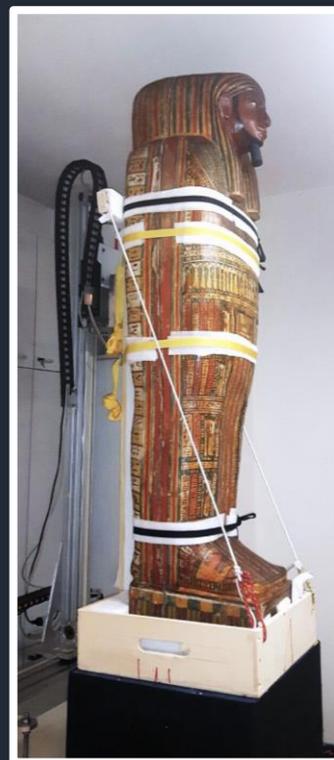
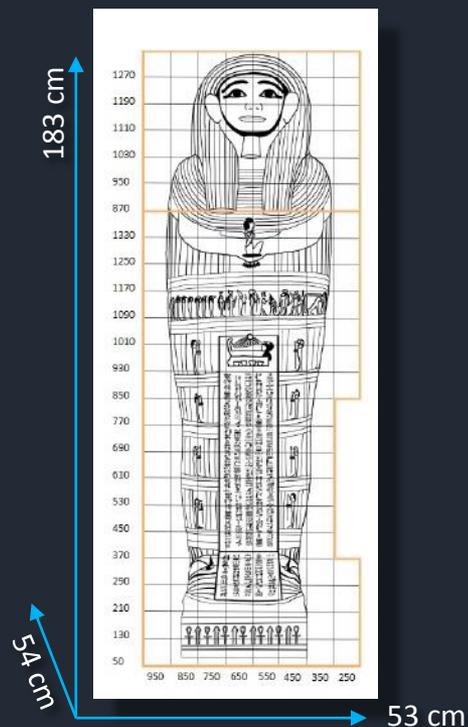
### YXLON SMART EVO 200D

- ❖ 30-200 kV
- ❖ 0.5 – 6 mA
- ❖ 750 W
- ❖ 1 mm focal spot



# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni

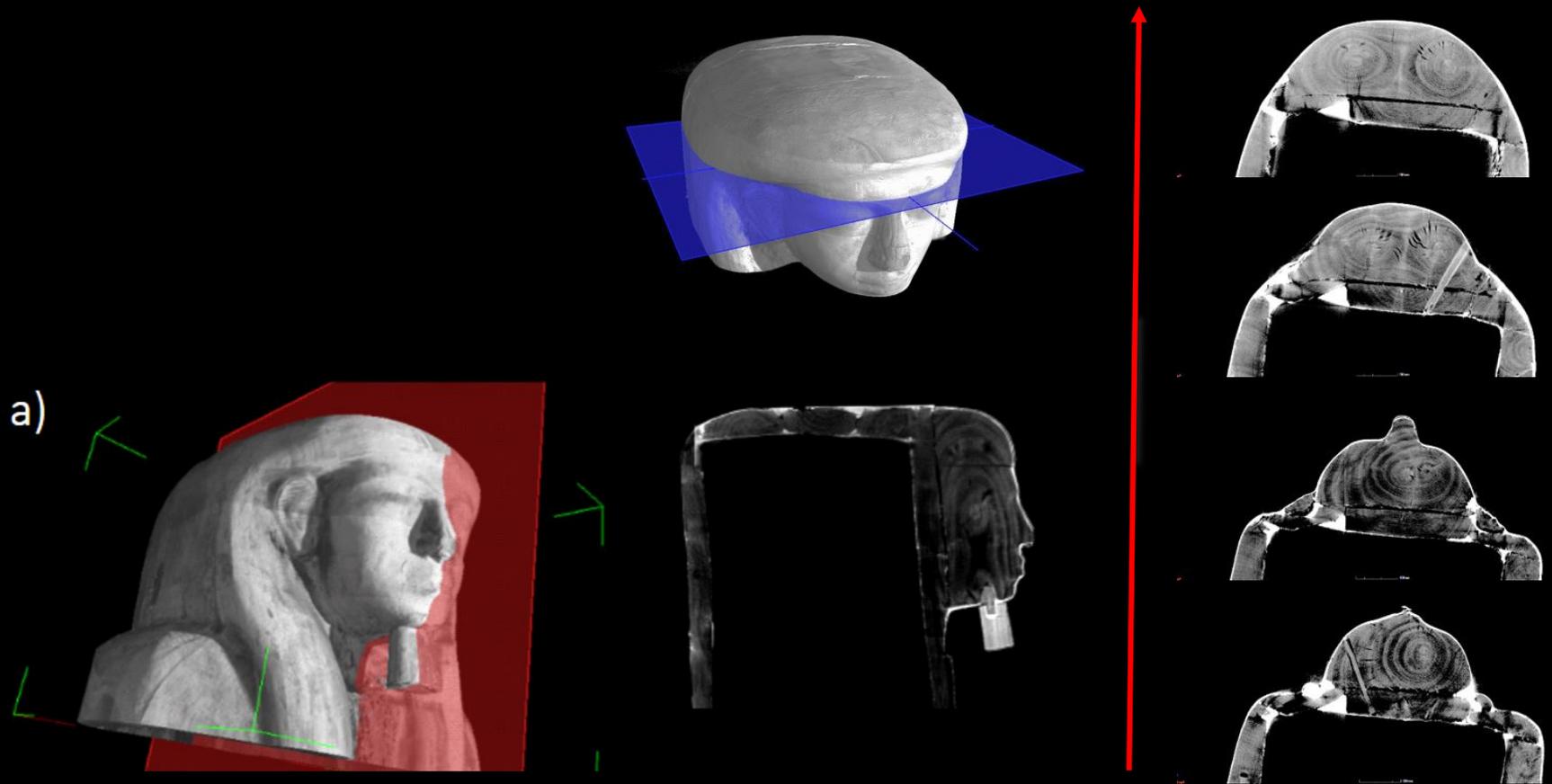
*Sarcofago di Unmontu VII- VIII sec. a.C.*



184 posizioni del detector  
3 min per posizione

165600 immagini  
115 GB di dati  
17 h di acquisizione

# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni





*Sarcofago Unmontu*  
*VII- VIII sec. a.C.*



363.76 mm



Scene  
Volume 1 grid coordinate system  
643.94 mm

Front 1



## La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni

Statua lignea di origine africana, conservata presso il *Museo Preistorico-Etnografico L. Pigorini* di Roma.

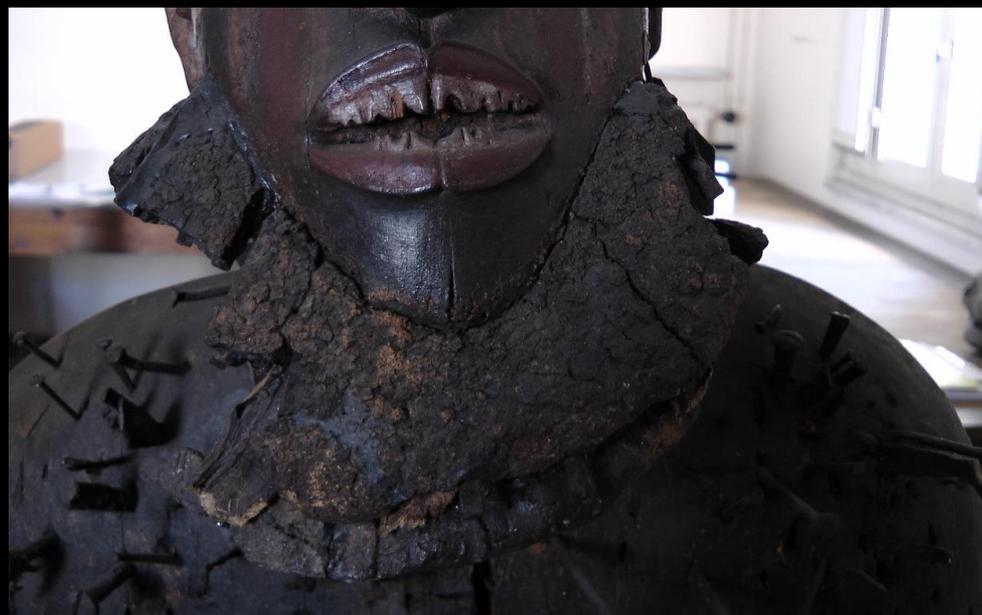
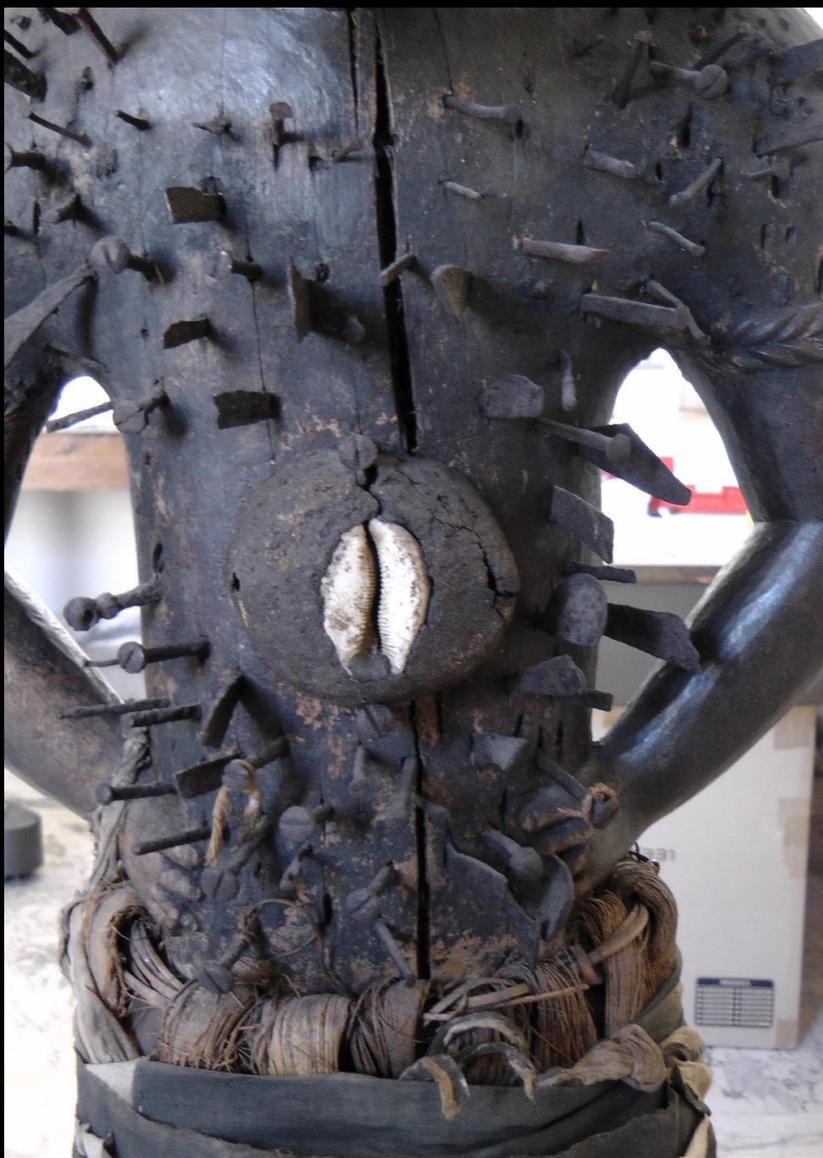
Rappresenta una divinità antropomorfa, dotata di poteri magici.

È stato scolpito da un unico pezzo di legno e ha molti chiodi metallici infissi nel torace a scopo votivo.

Nel 2014 è stato chiesto in prestito dal Metropolitan Museum di New York.

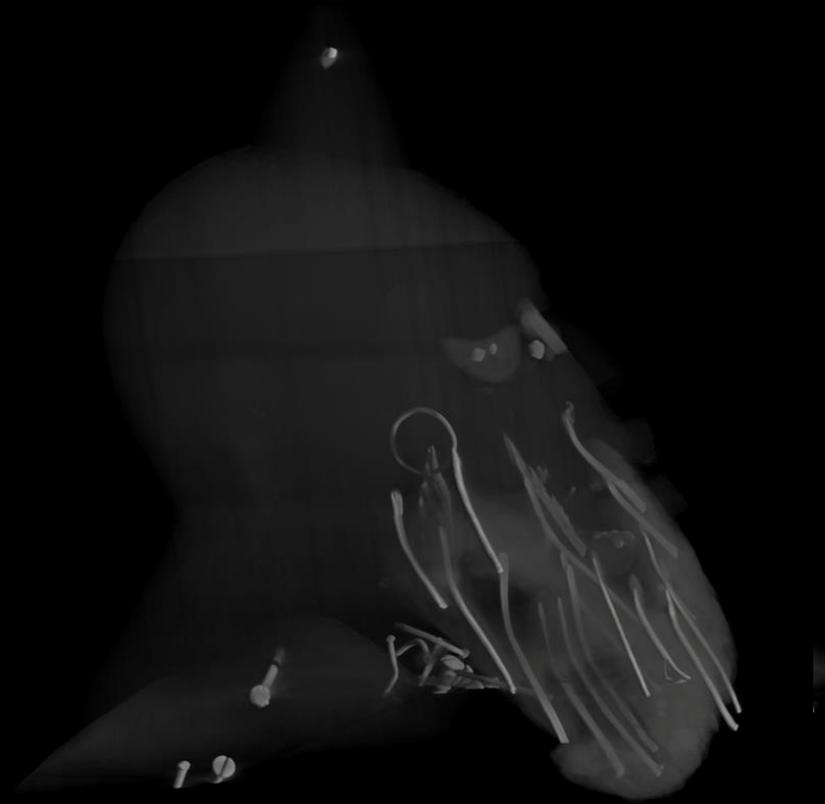
H: 120 cm (seconda metà XIX secolo)





Dettagli della barba e della cosiddetta «tasca magica» nell'addome della statua.

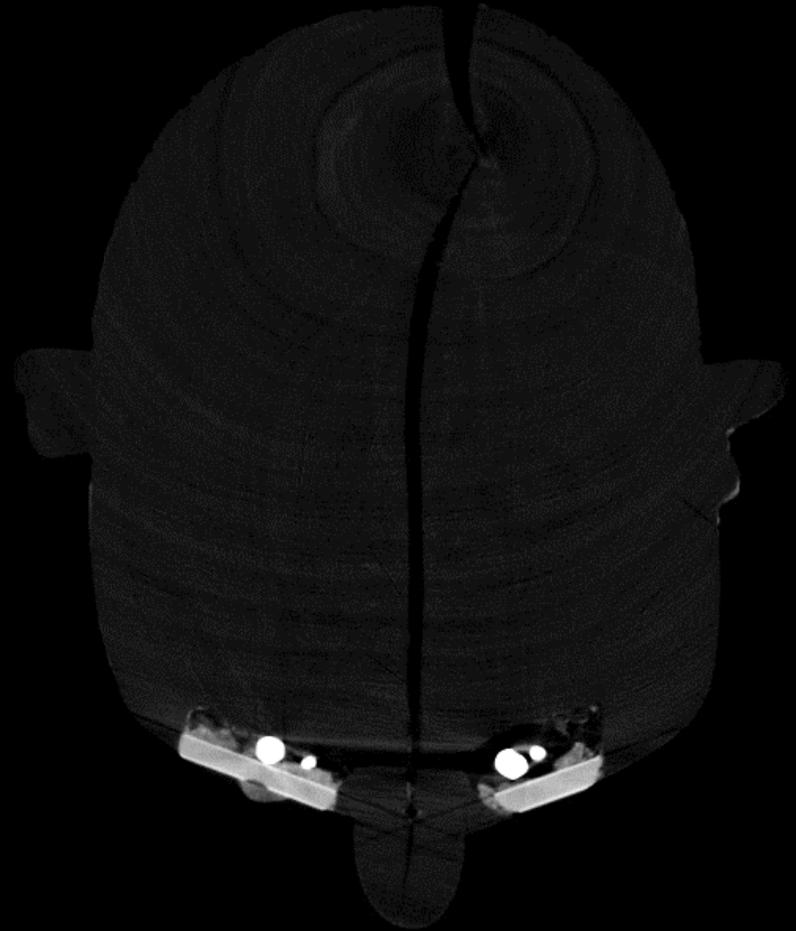
# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni

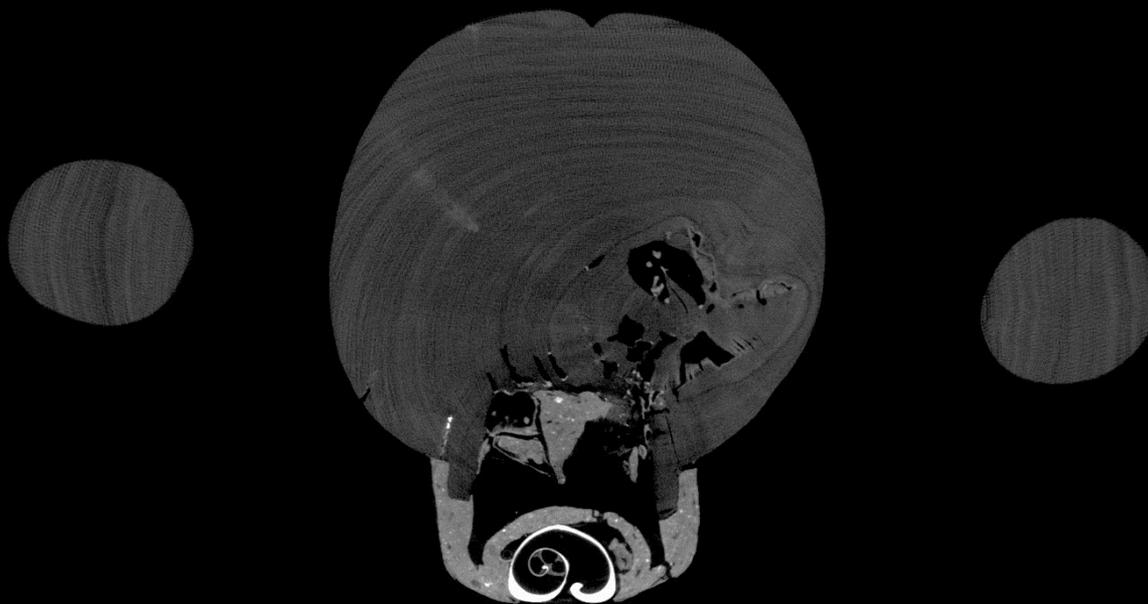


Una doppia fila di perni metallici profondamente incassati nel legno offre un solido sostegno alla barba.

# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni

---

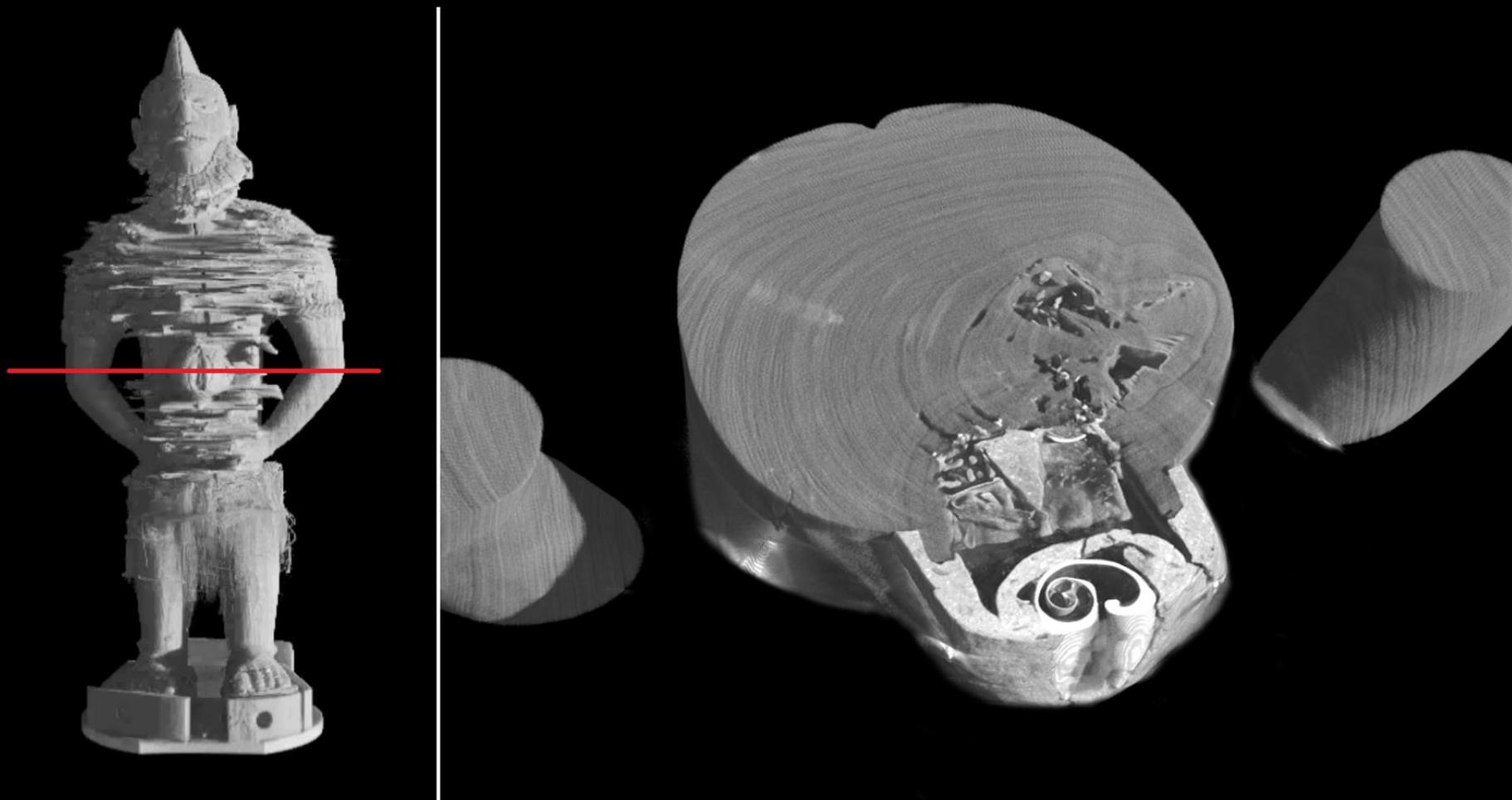




Sezione assiale a livello dell'addome che mostra la cavità interna, contenente oggetti «magici».

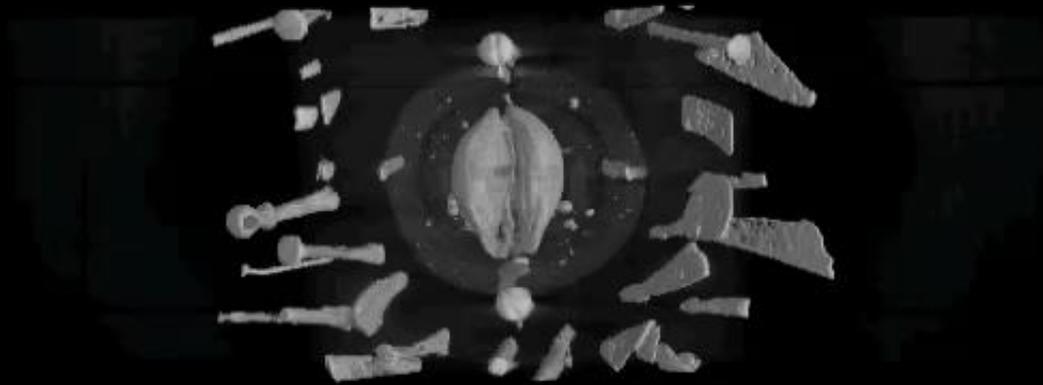
# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni

---



# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni

---

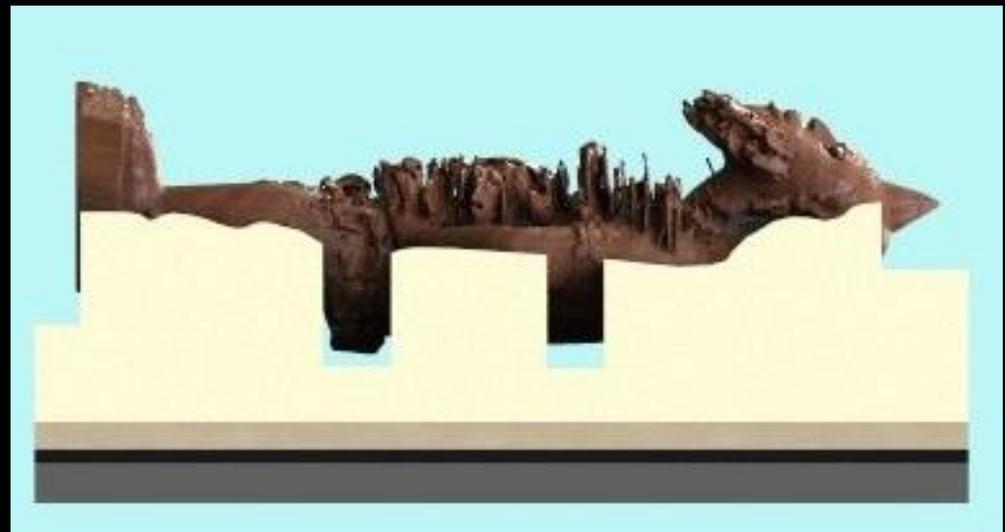


Quattro perni metallici racchiudono il bolo della cosiddetta "tasca magica".

# La Tomografia di oggetti di grandi dimensioni



Sulla base del modello 3D ottenuto con la TAC della statua, è stata progettata e costruita una cassa su misura con l'interno sagomato in modo da garantire il trasferimento a New York della statua in condizioni di sicurezza.





E' stata realizzata con vere ossa umane, su cui è stata modellata la cera in modo da riprodurre i fasci muscolari in dimensioni reali



Cera anatomica di Anna  
Morandi Manzolini,  
XVIII secolo, 57 × 56 x 30 cm



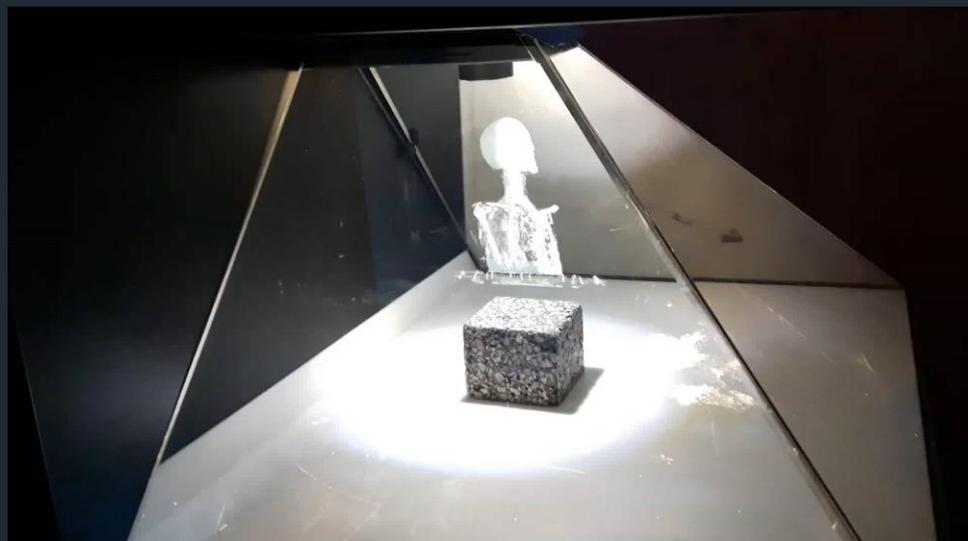
Cera

Ossa





## Visualizzazione risultati TAC mediante piramide olografica



**Grazie per l'attenzione!**

**Morigi Maria Pia**

Dipartimento di Fisica e Astronomia  
INFN - Sezione di Bologna  
Viale Berti Pichat 6/2  
40127 Bologna - Italy  
Tel: +39 051 2095085  
email : [mariapia.morigi@unibo.it](mailto:mariapia.morigi@unibo.it)