

## LA TECNICA

---

La Tomografia Assiale Computerizzata (TAC) con raggi X è una tecnica diagnostica non distruttiva in grado di visualizzare in 3D la struttura interna degli oggetti analizzati. L'oggetto da analizzare, posto su una piattaforma ruotante, viene fatto attraversare da un fascio di raggi X e ruotato intorno al proprio asse. La ricostruzione in 3D della struttura interna dell'oggetto si ottiene dall'elaborazione digitale delle radiografie acquisite ad angoli diversi.

Tipicamente la TAC si esegue su beni mobili (molto raramente e con sistemi progettati ad hoc, dotati di una sorgente di raggi X con energia di qualche MeV, può essere effettuata su elementi architettonici come pali o colonne, o grandi statue, ma solo se attorno a questi c'è spazio sufficiente per montare il sistema e se gli spessori e i materiali lo permettono).

La TAC è adatta a una grande varietà di manufatti e di materiali, ma difficilmente, con uno stesso sistema, si potranno effettuare analisi su tutte le tipologie di oggetti. Le maggiori limitazioni sono date dalla densità del materiale (metalli), dallo spessore totale medio (marmo pieno), dall'ingombro (grandi oggetti).

I sistemi sviluppati presso i laboratori di INFN-CHNet sono adatti a materiali medio-leggeri come legno, argilla, terracotta etc.. e rendono possibile effettuare analisi sia su statue che su dipinti su tavola.

Presso i laboratori di CHNet sono presenti quattro sistemi fissi, due tomografici e due microtomografici per analisi ad altissima risoluzione spaziale di oggetti o campioni con dimensioni di pochi mm.

## OGGETTI ANALIZZABILI

---

Oggetti di vario tipo e materiale: vasi, ornamenti, statue lignee, pani di terra...

## INFORMAZIONI OTTENIBILI E TEMPI DI MISURA

---

La TAC misura di fatto la densità locale del materiale ma ha una capacità di distinzione limitata tra i materiali. Si differenziano chiaramente tra loro i materiali con densità sufficientemente diversa: metalli leggeri da metalli pesanti, legno da metallo, cavità dal pieno, stucco su legno,...

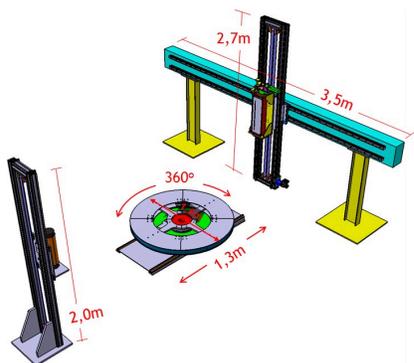
Il tempo di misura dipende molto dalle dimensioni dell'oggetto da analizzare e dalla risoluzione che si vuole ottenere. Si va da circa 1 ora a diversi giorni per oggetti di grandi dimensioni.

## STRUMENTAZIONE DISPONIBILE

---

### Sistema tomografico per oggetti di grandi dimensioni 1: Venaria Reale (CHNet-To)

Sistema adatto ad analizzare oggetti di materiale vario e di grandi dimensioni (area scansionata: 3.5 m x 2.7 m; dimensioni massime TAC: cilindro di diametro 2.5 m e altezza 2.7 m), con la possibilità di includere in un'unica radiografia un'area estesa (3.5 m x 0.5 m), evitando quindi, per oggetti con altezza inferiore ai 50 cm, il ricorso all'acquisizione di più porzioni della stessa proiezione dell'oggetto da ricomporre in seguito. Il sistema è composto da un tubo X, una piattaforma rotante di 1.6 m su cui viene posto l'oggetto da analizzare e un rivelatore di raggi X lineare lungo 0.5 m, che viene traslato orizzontalmente a velocità costante e ruotato intorno all'asse verticale in modo che la fenditura presente nella schermatura in piombo davanti all'area attiva sia sempre orientata verso il fuoco della sorgente, così da ridurre i raggi X diffusi per effetto Compton e quindi migliorare la qualità delle immagini. Una volta finita la scansione del rivelatore, la piattaforma ruota di una frazione di grado e si inizia un'altra scansione ad un'angolazione differente, fino ad eseguire una rotazione completa. Per oggetti più alti di circa 0.5 m (fino a 2.7 m) è necessario ripetere queste operazioni variando insieme l'altezza di rivelatore e sorgente per scansionarli completamente. Il sistema è installato presso il Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale" (TO), che è parte di INFN-CHNet.



Detector: Hamamatsu X-ray Line Sensor Camera C9750-20TCN, con schermatura in Pb eccetto

sull'area attiva.

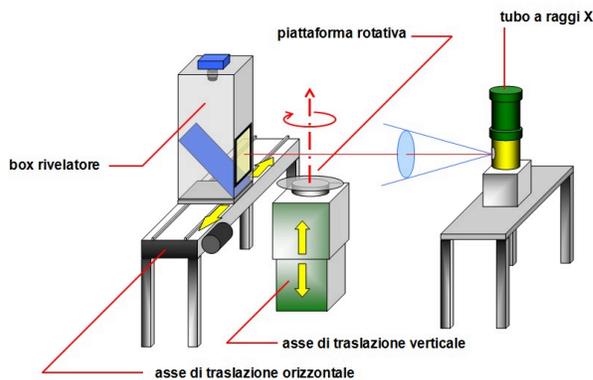
FOV:  $512 \times 0.2 \text{ mm}^2$

Pixel Size:  $200 \mu\text{m}$

Piattaforma rotante: motore Newport RV350PE rotary stage (peso massimo dell'oggetto analizzato: 500 kg; diametro della base d'appoggio: 1.6 m)

### Sistema tomografico 2: Ravenna (CHNet Bo)

Sistema fisso dotato di un asse di traslazione orizzontale per il rivelatore con una corsa di circa 3 m e di un asse verticale, con corsa di 80 cm, per la movimentazione dell'oggetto (dimensioni massime: cilindro di diametro 1 m e altezza 70 cm). La piattaforma rotativa, piuttosto robusta (Newport RV160), è dotata di un ampio piano di appoggio in acciaio. Il sistema, che utilizza come sorgente di raggi X un monoblocco Comet Yxloni da 200 kVp (max potenza 740 W), è installato in un laboratorio del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna, presso il Campus di Ravenna.



Detector: camera CCD accoppiata otticamente a uno schermo scintillatore di CsI(Tl) con struttura ad aghi

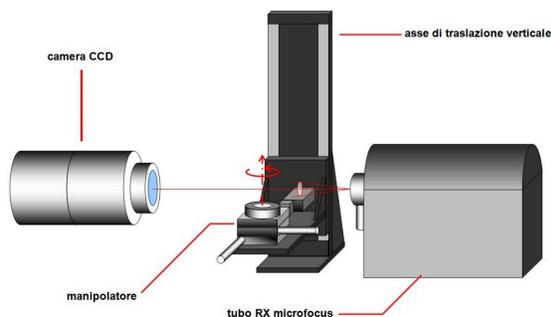
FOV:  $45 \times 45 \text{ cm}^2$

Pixel size:  $150 \mu\text{m}$

Piattaforma rotante: Newport RV160 rotary stage (peso massimo dell'oggetto analizzato: 270 kg; diametro della base d'appoggio: 80 cm)

### Sistema microtomografico 1: (CHNet Bo)

Sistema microtomografico, adatto ad effettuare analisi su campioni di piccole dimensioni (una decina di mm) con risoluzione spaziale molto elevata (tipicamente si può raggiungere un voxel di circa 10 micron). Il sistema viene usato esclusivamente con una sorgente microfocus di bassa potenza da 130kVp - 0.5mA ed è installato in laboratorio presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia di Bologna.



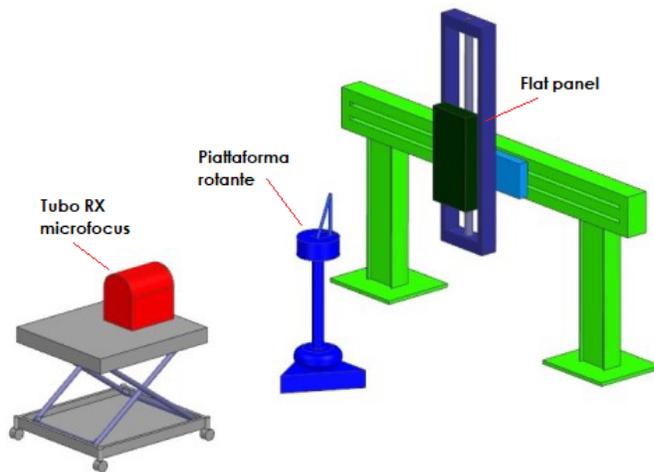
Detector: camera CCD VHR Photonic Science con FO plate + scintillatore

FOV: 36 x 24 mm<sup>2</sup>

Pixel size: 9 μm

### Sistema microtomografico 2: (CHNet To)

Sistema microtomografico, adatto ad effettuare analisi su campioni di piccole dimensioni (qualche decina di mm) o tomografie locali con risoluzione spaziale molto elevata (tipicamente si può raggiungere un voxel di circa 10 micron). Il sistema è installato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino e prevede una sorgente microfocus da massima potenza a 150kVp - 0.5mA ed un rivelatore ad area.



Detector: Shad-o-Box 6 K HS Flat Panel detector (Teledyne Dalsa)

FOV: 11.4 x 14.6 cm<sup>2</sup>

Pixel size: 49.5 µm

Piattaforma rotante: Newport URS150BPP rotary stage

## LINEE DI RICERCA

---

### CHNet-Bo

Il gruppo si occupa da anni dello sviluppo di sistemi di acquisizione innovativi per Radiografia Digitale e Tomografia Computerizzata 3D con sorgenti di raggi X di energia fino a circa 300 keV, sia in laboratorio che trasportabili. Le competenze vanno dal setup dei componenti hardware allo sviluppo di software per l'acquisizione e la ricostruzione di dati tomografici, oltre che all'applicazione della strumentazione a reperti archeologici e opere d'arte di diversa natura e dimensioni.

### CHNet-To

La ricerca avviene in stretta collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino e il Centro di Conservazione e Restauro "La Venaria Reale" presso cui l'apparato per oggetti di grandi dimensioni è installato. Le attività riguardano principalmente lo sviluppo della radiografia/tomografia, anche di grandi oggetti, finalizzata alla diagnostica per il restauro e la conservazione. In particolare, si sta lavorando a migliorare le prestazioni degli apparati in termini di risoluzione spaziale, ad ottenere minori tempi di acquisizione, a sviluppare metodologie per evidenziare caratteristiche dei manufatti di interesse per i restauratori e a ridurre il tempo necessario per l'analisi dei dati.

## ULTERIORI INFORMAZIONI

---

- F. Casali, M. Bettuzzi, D. Bianconi, et al., *X-ray computed tomography of an ancient large globe*, Optical Methods for Arts and Archaeology Conference, 13-14 June 2005, Munich, Germany. Published on Proc. SPIE Vol. 5857, (2005), pp. 253-260, Optical Methods for Arts and Archaeology, Renzo Salimbeni, Luca Pezzati, Eds, <https://doi.org/10.1117/12.612122>
- M.P. Morigi, F. Casali, A. Berdondini, et al., *X-ray 3D computed tomography of large objects: investigation of an ancient globe created by Vincenzo Coronelli*, Proceedings of SPIE: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology, Vol. 6618, 66180A, (2007), <https://doi.org/10.1117/12.725986>
- M.P. Morigi, F. Casali, M. Bettuzzi, et al., *Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics*, Applied Physics A, vol. 100(3), pp. 653-661, (2010), <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5648-6>.
- M.Bettuzzi, M.P.Morigi, A.Lai, et al., *Un sistema trasportabile per la radiografia digitale di grandi dipinti: sviluppo ed esperienze sul campo*, Atti del Congresso AIAR 2012, Marzo 2012, Pàtron Editore, Bologna, pp 922-932, <https://hdl.handle.net/11585/114817>.
- VV.AA., *Il Progetto neu\_ART. Studi e applicazioni / Neutron and X-ray tomography and imaging for cultural heritage*, Cronache 4, Editris (2013), ISBN: 9788889853344
- A. Re, F. Albertin, C. Avataneo et al., *X-ray tomography of large wooden artworks: the case study of "Doppio corpo" by Pietro Piffetti*, Heritage Science 2014, 2:19, <https://doi.org/10.1186/s40494-014-0019-9>.
- E. Peccenini, F. Albertin, M. Bettuzzi, et al., *Advanced imaging systems for diagnostic investigations applied to Cultural Heritage*, Journal of Physics: Conference Series, Volume 566, Number 1, 12 December 2014, pp. 12022-12028(7), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/566/1/012022>.
- M. Bettuzzi, R. Brancaccio, F. Casali et al., *Indagine tomografica*, in Raffaello, *La Muta. Indagini e restauro*, monografia, collana Problemi di conservazione e restauro, Edifir Edizioni Firenze, 2015, pag.101-106.
- M. Bettuzzi, F. Casali, M. P. Morigi, et al., *Computed tomography of a medium size Roman bronze statue of Cupid*, Applied Physics A, March 2015, Vol.118, Issue 4, pp 1161-1169, <http://dx.doi.org/10.1007/s00339-014-8799-z>.
- A. Re, J. Corsi, M. Demmelbauer, et al., *X-ray tomography of a soil block: a useful tool for the restoration of archaeological finds*, Heritage Science 2015, 3: 4, <https://doi.org/10.1186/s40494-015-0033-6>
- L. Vigorelli, A. Re, P. Buscaglia, et. al., *Comparison of two ancient Egyptian Middle Kingdom statuettes from the Museo Egizio of Torino through computed tomographic measurements*, Journal of Archaeological Science: Reports 2022, 44: 103518, <https://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103518>