

# Imaging di Fluorescenza a Raggi X (MA-XRF)

LABORATORI MOBILI

## LA TECNICA

---

La fluorescenza a raggi X (XRF) è una tecnica di analisi che può essere applicata alla maggior parte dei materiali inorganici. Nell'XRF l'identificazione degli atomi costituenti il campione avviene tramite l'analisi dello spettro X che questo emette in seguito all'eccitazione prodotta dai raggi X primari. Le energie emesse sono infatti caratteristiche delle specie atomiche presenti nel materiale e permettono così di individuare in breve tempo (misure tipicamente dell'ordine di qualche minuto) la composizione atomica dell'oggetto in esame. In set-up in esterno (in cui cioè il campione non è messo in vuoto), gli elementi rivelabili sono compresi tra il Sodio (Na: Z=11) e l'Uranio (U: Z=92).

Nell'imaging XRF, anche detto macro-XRF (MA-XRF), lo spettro è registrato insieme alle sue coordinate spaziali, in modo da rendere possibile la ricostruzione delle mappe di distribuzione dei diversi elementi presenti nel campione. Questo può essere ottenuto tramite scansione del campione o tramite l'utilizzo di un collimatore pinhole e di un rivelatore 2D in quella che prende il nome di full-field XRF. La tecnica permette di effettuare analisi multielementali in tempi brevi, è non invasiva/non distruttiva e può essere effettuata in situ utilizzando una strumentazione portatile.

## OGGETTI ANALIZZABILI

---

- Dipinti (affreschi, tele, tavole)
- Manoscritti miniati
- Disegni
- Ceramiche
- Mosaici
- Statue policrome
- Leghe metalliche
- Fotografie antiche
- ...

## INFORMAZIONI OTTENIBILI E TEMPI DI MISURA

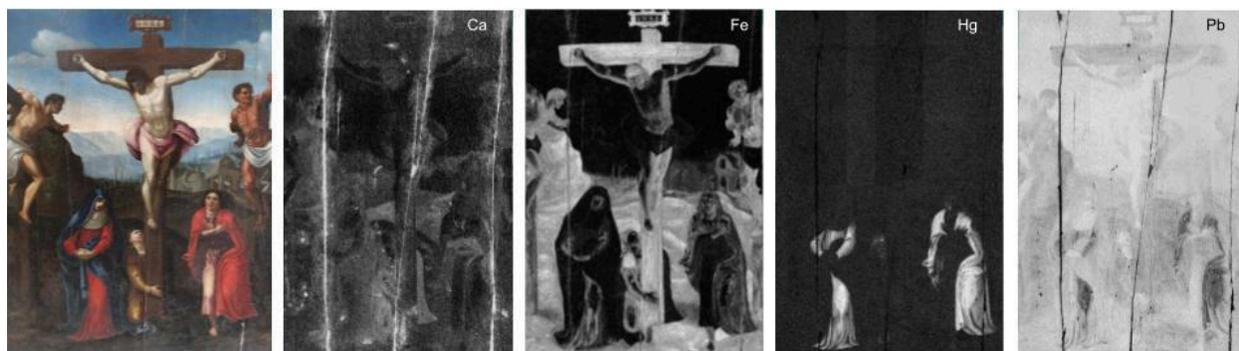
---

Le analisi MA-XRF forniscono le distribuzioni degli elementi (ricordiamo che compresi tra il Sodio (Na: Z=11) e l'Uranio (U:Z=92)) presenti nell'area analizzata, tipicamente dell'ordine delle decine o centinaia di cm<sup>2</sup>, a seconda della strumentazione utilizzata.

Lo spessore sondato varia da qualche frazione di millimetro (metalli) a qualche centimetro (legno), a seconda dell'energia incidente e del materiale in studio.

Non si hanno informazioni sulla componente organica (più leggera del Na), né sulla composizione molecolare: per avere informazioni sui composti presenti è necessario affidarsi a ipotesi stechiometriche, o effettuare ulteriori analisi utilizzando tecniche complementari che forniscano informazioni anche in questo senso (per es. Raman e spettroscopia IR).

I tempi di misura variano moltissimo a seconda del tipo di materiale analizzato, della risoluzione richiesta e delle informazioni che si vogliono ottenere, ma anche a seconda della strumentazione utilizzata, per cui verranno discussi nel seguito.



**Fig. 1:** Immagine visibile e mappe di distribuzione di calcio, ferro, mercurio e piombo nella “Crocifissione di Viterbo”, conservata presso il Polo Monumentale Colle del Duomo di Viterbo. Il bianco corrisponde al massimo dei conteggi registrati, mentre il nero al minimo.

## STRUMENTAZIONE DISPONIBILE

---

### Scanner XRF ultraportatile (CHNet-Fi)

Lo scanner sviluppato presso la Sezione di Firenze permette l'acquisizione di mappe fino a 30 x 30 cm<sup>2</sup> con una risoluzione spaziale tipica di 0.8 mm e una risoluzione energetica di 135 eV @ 5.9 keV. Il sistema acquisisce in continuo durante la scansione; velocità tipica di utilizzo è 10 mm/s per dipinti su tela o tavola con una dimensione del pixel di 1mm (circa un'ora per una mappa di 20 x 20 cm<sup>2</sup>). Per oggetti in cui sia necessario un maggiore dettaglio i tempi aumentano: per una

miniatura, per esempio, si possono avere tempi di acquisizione di circa mezz'ora per aree di 10 x 10 cm<sup>2</sup>.

Lo scanner è sufficientemente compatto per essere montato facilmente su un'impalcatura e l'emissione X è tale (tubo Moxtek da 4 W) da poter consentire l'utilizzo in ambienti pubblici, una volta interdetta al pubblico un'area di rispetto di dimensioni di 3 m x 1.5 m intorno al sistema.

Dettagli tecnici:

- Tubo X Moxtek© con anodo in Cr (40kV, 0.1 mA)
- Rivelatore XR100SDD Amptek©, 25mm<sup>2</sup>x500µm
- Motori lineari M404PD (Physik Instrumente©)
- Digitalizzatore CAEN DT5780
- Sistema integrato per flusso di elio
- Telecamera e laser di puntamento
- Software di acquisizione e movimentazione sviluppato da INFN (GPL)
- Possibilità di alimentazione a batteria



**Fig. 2:** Lo scanner di CHNet-Fi in misura, da sx a dx: alla casa della caccia antica di Pompei, al MANN di Napoli e all'abbazia di San Giorgio Maggiore a Venezia.

### **Scanner MA-XRF portatile (CHNet-LNF)**

Lo scanner sviluppato presso i Laboratori Nazionali di Frascati in collaborazione con INFN-Fi permette l'acquisizione di mappe fino a 20 x 20 cm<sup>2</sup> con una risoluzione spaziale tipica di 0.8 mm e una risoluzione energetica di 139 eV @ 5.9 keV.

Il sistema acquisisce punto per punto durante la scansione ed è possibile aumentare i tempi di acquisizione per avere un maggiore dettaglio. Lo scanner è sufficientemente compatto per trasportato facilmente in situ e l'emissione X è tale (tubo Moxtek da 4 W) da poter consentire l'utilizzo in ambienti pubblici, una volta interdetta al pubblico un'area di rispetto di dimensioni di 2mx2m intorno al sistema.

Dettagli tecnici:

- Tubo X MOXTEK Magnum® con anodo in Rh (40kV, 0.1 mA)
- Rivelatore XR100SDD Amptek©, 50mm2x450µm (finestra di berillio 12.5 µm)
- Motori STANDA
- Digitalizzatore CAEN DT5780 software CoMPASS
- Possibilità di integrare un sistema per flusso di elio
- Telecamera e laser di puntamento
- Sensore di distanza integrato con lo scanner
- Sistema d'acquisizione sincronizzato con un software Labview
- Ricostruzione delle immagini iperspettrali (Tool di Matlab)

## LINEE DI RICERCA

---

### CHNet-Fi

- sviluppo di strumentazione trasportabile a basso costo e basata su sistemi open source
- analisi di una grande varietà di manufatti, prevalentemente dipinti su tela, tavola, manoscritti miniati e disegni, in collaborazione con centri di restauro e biblioteche.

### CHNet-LNF

- sviluppo di strumentazione trasportabile ed integrata con tecniche spettroscopiche complementari
- analisi di una grande varietà di manufatti, prevalentemente dipinti su tela, tavola, manoscritti miniati e disegni, in collaborazione con centri di restauro e biblioteche.

## ULTERIORI INFORMAZIONI

---

- F. Taccetti, L. Castelli, C. Czelusniak, et al, A multipurpose X-ray fluorescence scanner developed for in situ analysis, Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, <https://doi.org/10.1007/s12210-018-0756-x>
- C. Ruberto, A. Mazzinghi, M. Massi, et al.: Imaging study of Raffaello's "La Muta" by a portable XRF spectrometer, MJ, 126, 2016, 63–69.

- P. Ricciardi, A. Mazzinghi, S. Legnaioli et al., The Choir Books of San Giorgio Maggiore in Venice: Results of in Depth Non-Invasive Analyses, *Heritage* 2019, 2(2), 1684-1701, <https://doi.org/10.3390/heritage2020103>
- F. Albertin, C. Ruberto, C. Cucci, et al., "Ecce Homo" by Antonello da Messina, from non-invasive investigations to data fusion and dissemination, *Sci Rep* 11, 15868 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95212-2>
- L. Sottili, L. Guidorzi, A. Mazzinghi, et al, The Importance of Being Versatile: INFN-CHNet MA-XRF Scanner on Furniture at the CCR "La Venaria Reale", *Appl. Sci.* 2021, 11, 1197. <https://doi.org/10.3390/app11031197>
- A. Mazzinghi, C. Ruberto, L. Castelli, et al., MA-XRF for the Characterisation of the Painting Materials and Technique of the Entombment of Christ by Rogier van der Weyden, *Appl. Sci.* 2021, 11, 6151. <https://doi.org/10.3390/app11136151>