

# Nuclei per la Cultura

P.A.Mandò  
INFN & Università,  
Firenze

Legnaro,  
13 maggio 2015



Cosa c'entra  
la Fisica Nucleare  
coi Beni Culturali?

# *La Scienza per il Patrimonio Culturale*

Ha un ruolo cruciale sotto più aspetti:

## **diagnostica**

conoscenza più approfondita di opere specifiche, o di reperti archeologici (datazioni, materiali e tecniche di un dato artista)

conoscenza più ampia su tendenze e evoluzioni tecniche nel passato (acquisizioni di nuove tecnologie, apertura di nuove fonti di approvvigionamento dei materiali)

## **intervento**

supporto nelle decisioni sulle strategie di conservazione e restauro

ruolo attivo nei procedimenti di restauro

La Fisica ha un ruolo prevalente soprattutto nel campo della **diagnostica** (datazioni, indagini sulla composizione dei materiali, tecniche di imaging, analisi del deterioramento, etc)

il grande vantaggio delle tecniche fisiche nella diagnostica dei Beni Culturali sta infatti nella “non invasività”, o comunque minima invasività

(possibilità di rispondere al problema senza effettuare prelievi né danneggiare l’opera)

# *Tecniche fisiche in questo campo*

*(elenco sicuramente incompleto)*

Ottica: misura e monitoraggio del colore, misura in 3D della forma, "visione" sotto la superficie con riflettografia IR e con termografia, ...

Laser : analisi di materiali, pulizia delle superfici, ...

Fisica atomica e dello stato solido : datazioni con termoluminescenza, analisi di materiali con spettrometria Raman, ...

Fisica nucleare: analisi quantitativa di materiali con e senza acceleratori di particelle, radiografia e tomografia, datazioni col  $^{14}\text{C}$ , ...

# *Tecniche, metodologie e strumenti della Fisica Nucleare per i Beni Culturali*



# In Italia....

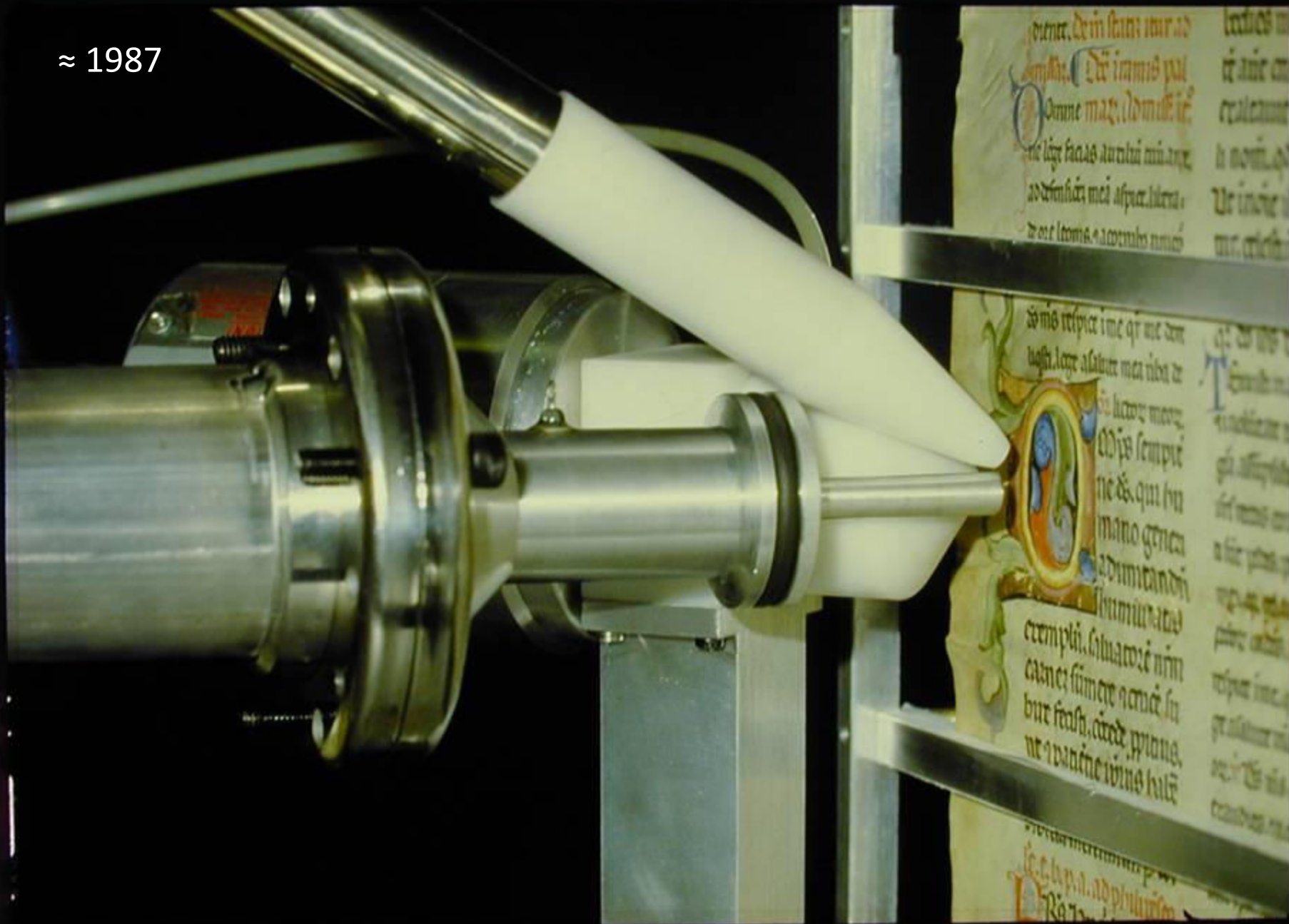
ad esempio siamo stati pionieri della **Ion Beam Analysis (IBA)** applicata ai Beni Culturali



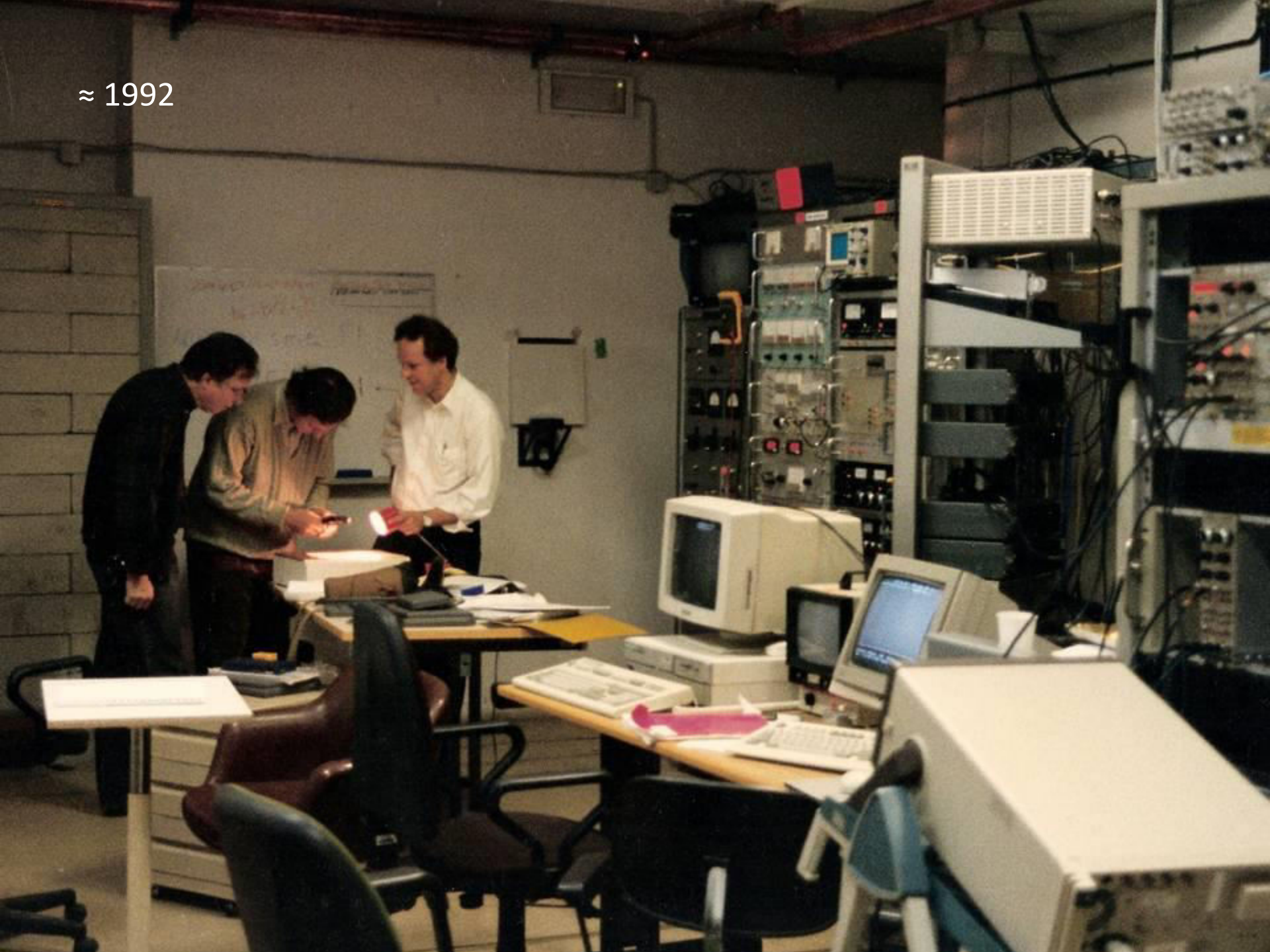
A Firenze abbiamo cominciato quasi 30 anni fa, usando un vecchio acceleratore Van de Graaff da 3 MV dell'INFN “ereditato” da misure di fisica nucleare fondamentale



≈ 1987



≈ 1992



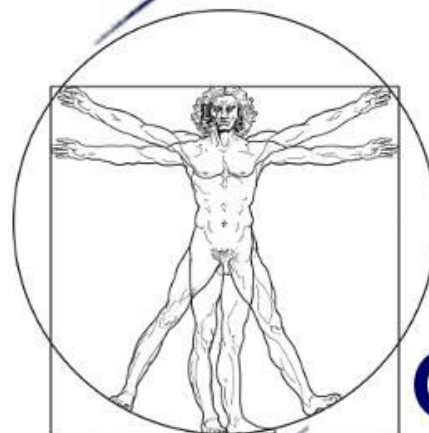
≈ 1992



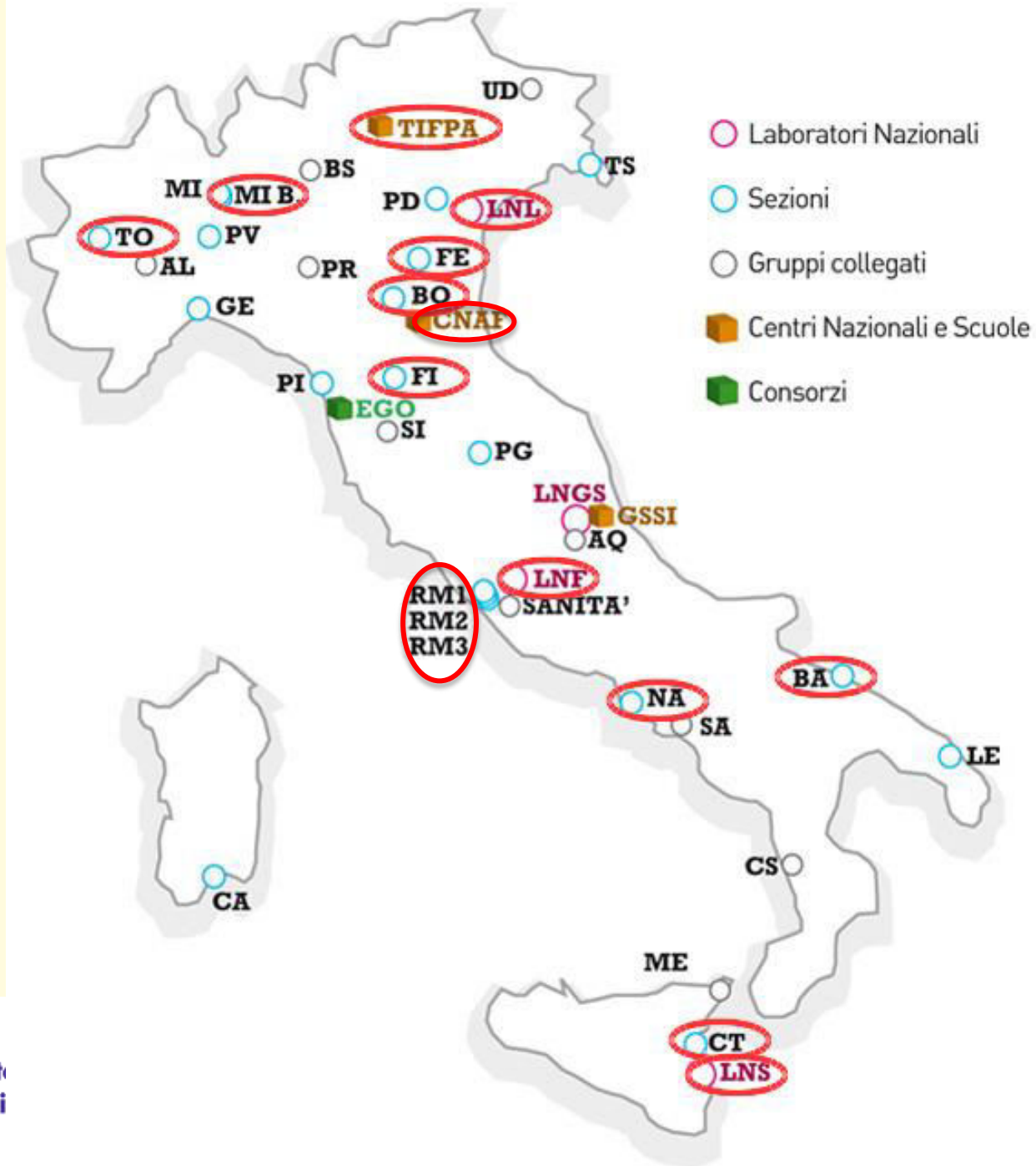


**INFN**

**Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare**



**CHNet**  
Cultural Heritage  
Network



Strutture INFN  
attive in CHNet



Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare



Polo Scientifico,  
Sesto Fiorentino  
(Firenze)



Laboratorio di Tecniche Nucleari  
per i Beni Culturali - Firenze

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



**Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare**  
Sezione di Firenze



Lavoriamo in stretto contatto con storici dell'arte e archeologi,  
Istituti per la Conservazione, Sovrintendenze, e ovviamente  
anche altri scienziati, in Italia (CNR e molte Università) e in  
Europa

Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France  
Max Planck Institut für WissenschaftsGeschichte Berlin  
Centro de Micro Análisis de Materiales Madrid  
Centro Nacional de Acceleradores Sevilla  
University of Surrey, Guildford  
International Atomic Energy Agency

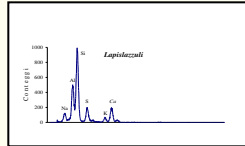




# *Ion Beam Analysis (IBA)*

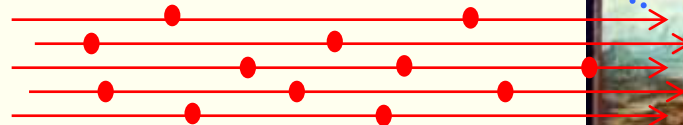
- *Analisi di composizione dei materiali usando fasci di particelle cariche (tipicamente protoni o alfa di energia di qualche MeV)*

*rivelazione delle radiazioni e analisi delle loro energie*

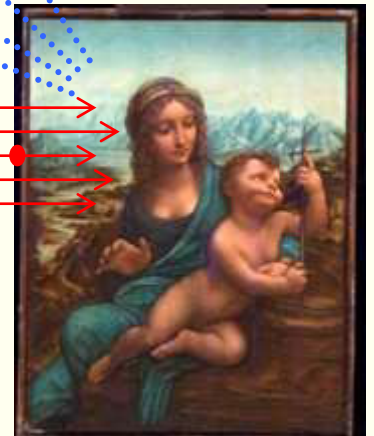


*emissione di radiazioni **di energie caratteristiche** (raggi X o  $\gamma$ , particelle...)*

*fascio di particelle*

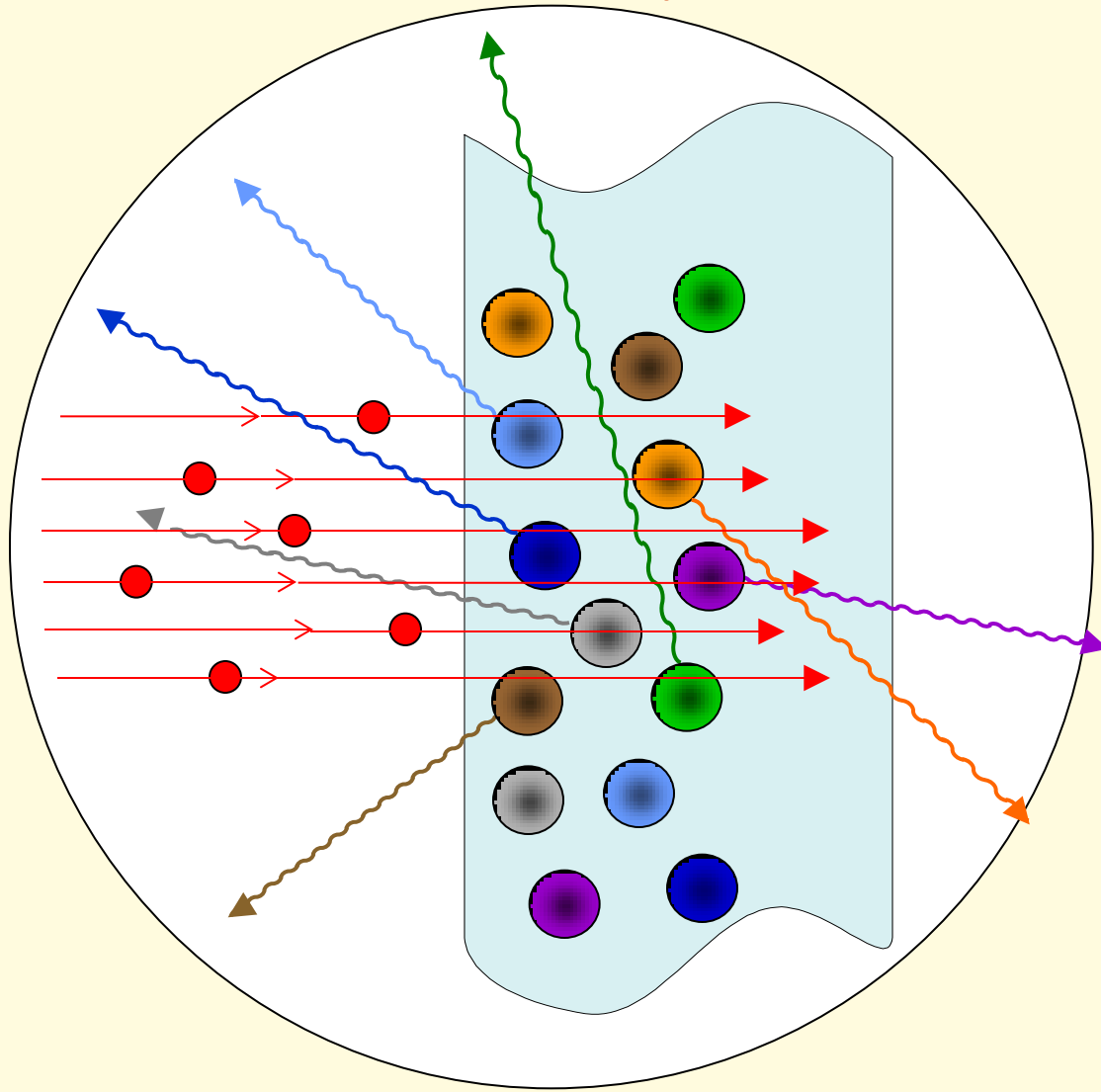


*"oggetto" da analizzare*

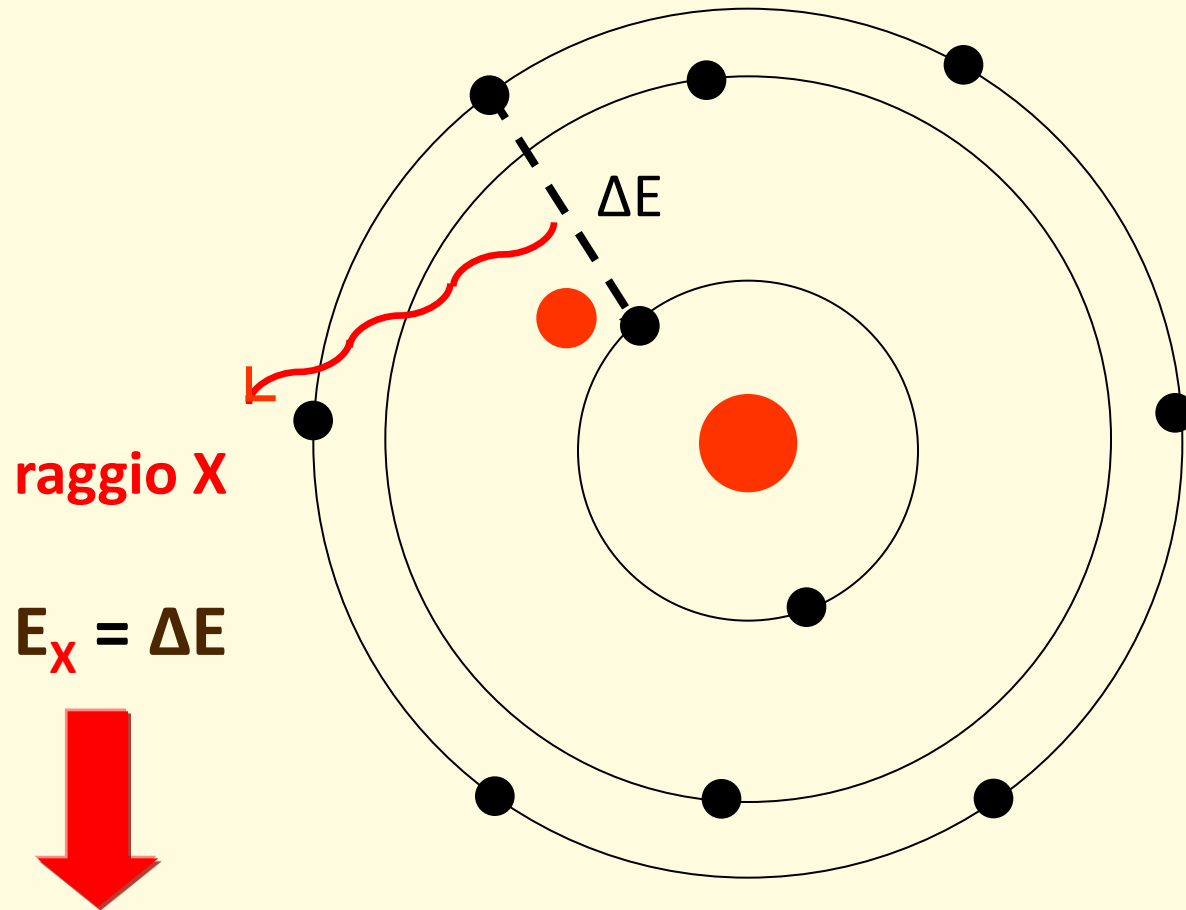


*acceleratore di particelle*

# *Ion Beam Analysis (IBA)*

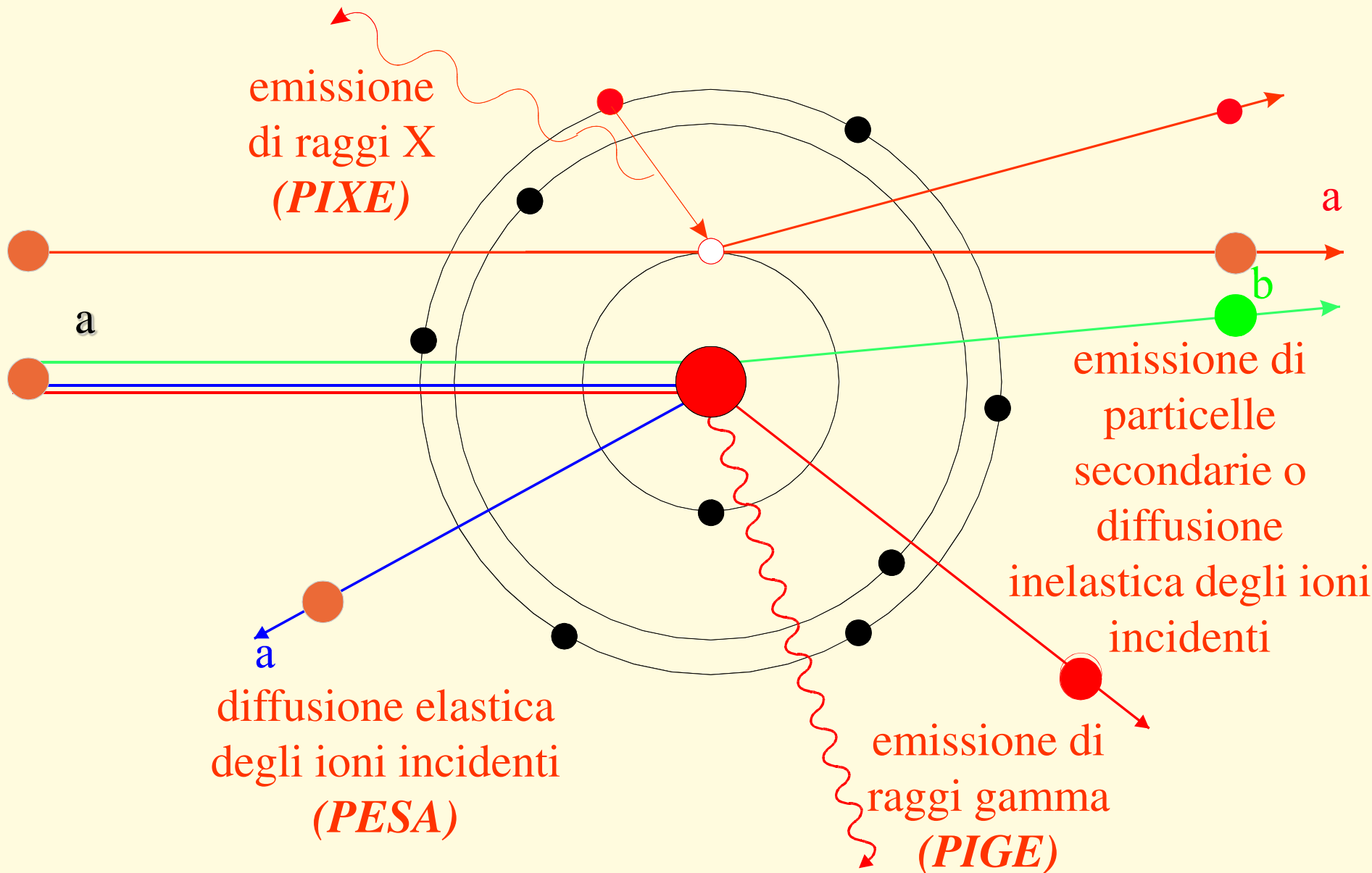


# PIXE: *Particle Induced X-Ray Emission*



l'energia del raggio X è caratteristica dell'elemento  
(es. sodio, silicio, calcio, ferro, piombo, etc...)

# *Ion Beam Analysis (IBA)*



# Pregi delle tecniche IBA

ampia “**multielementalità**” specie se si sfruttano emissioni di radiazioni diverse utilizzando più rivelatori durante una stessa misura

analisi **quantitativa** e estremamente **sensibile**

ASSOLUTA non distruttività e NESSUN danno  
(sufficienti fasci debolissimi)

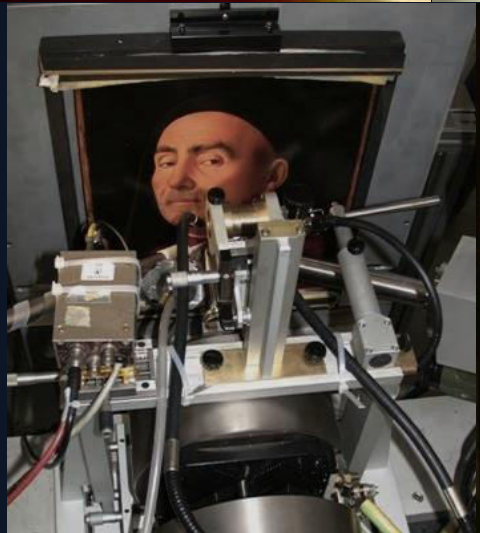
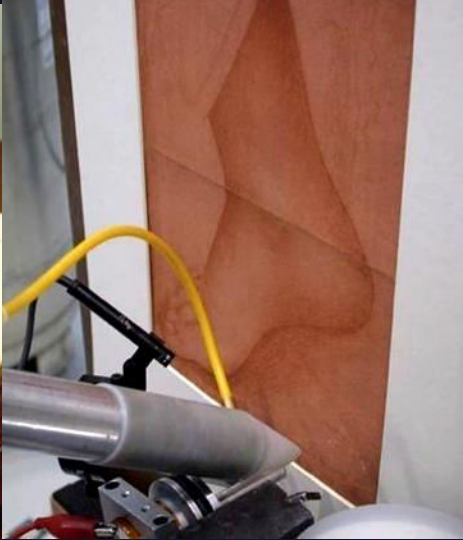
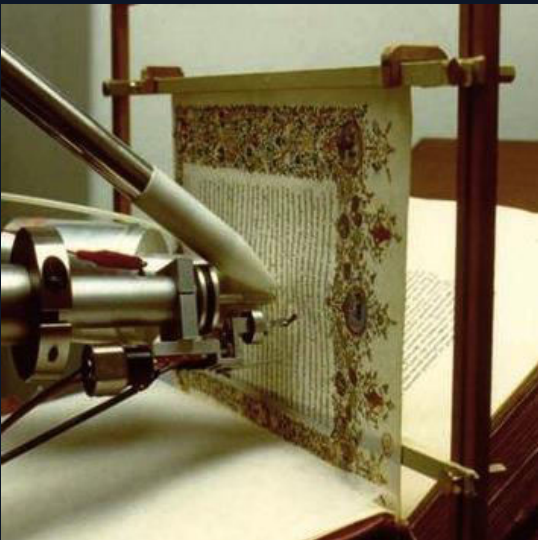
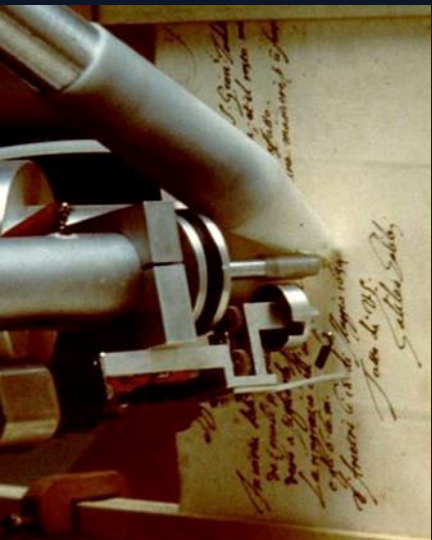
“mappatura” della distribuzione spaziale degli elementi e anche sulla eventuale struttura stratigrafica

*Una caratteristica essenziale per le analisi nel campo  
dei beni culturali*

*il set-up di fascio esterno*



*Usando set-up di fascio esterno si può  
misurare senza arrecare alcun danno la  
composizione quantitativa di  
qualsunque tipo di opera*



IBA (Ion Beam Analysis)









RECYCLE  
COMPUTER PAPER ONLY





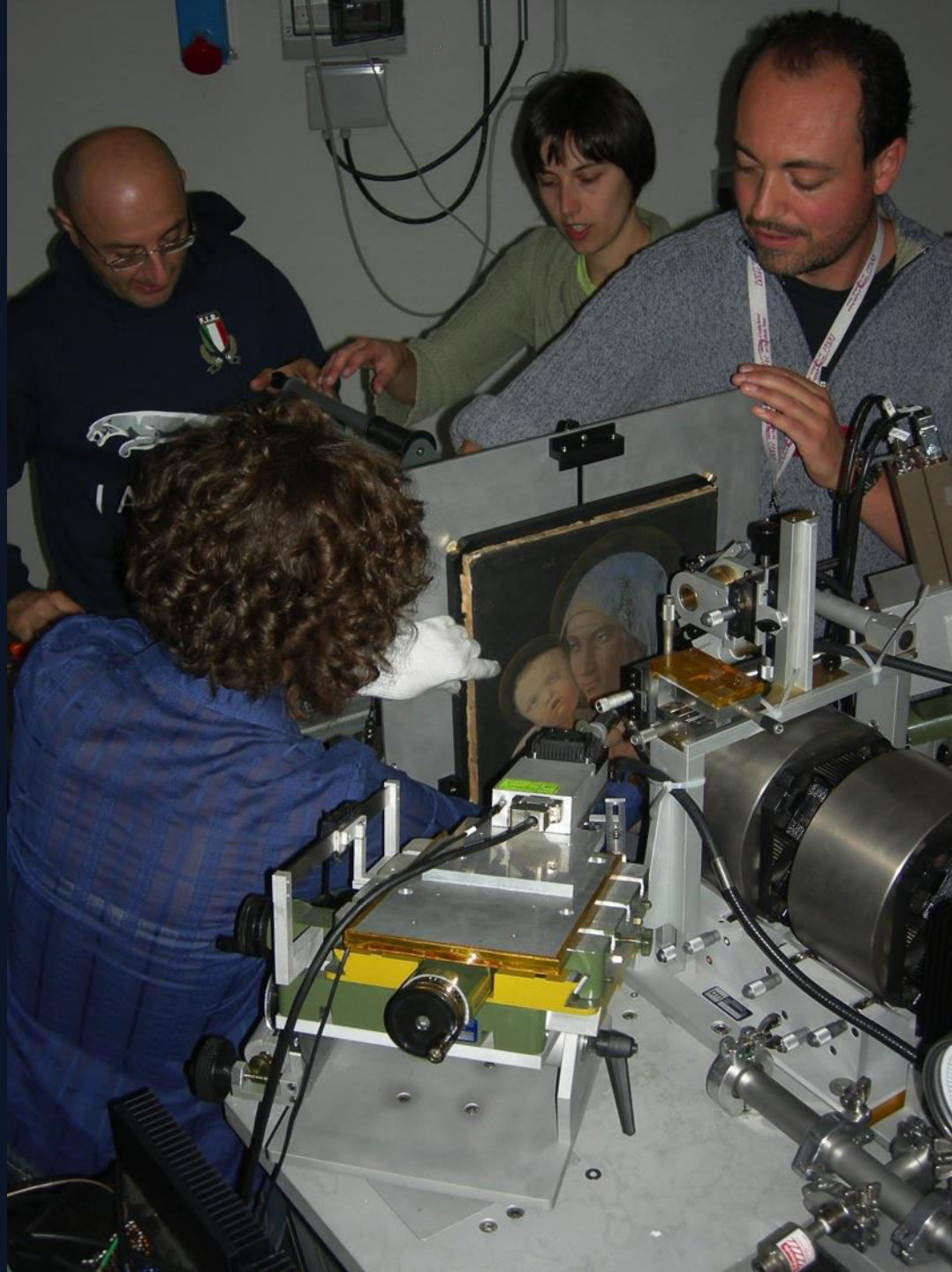








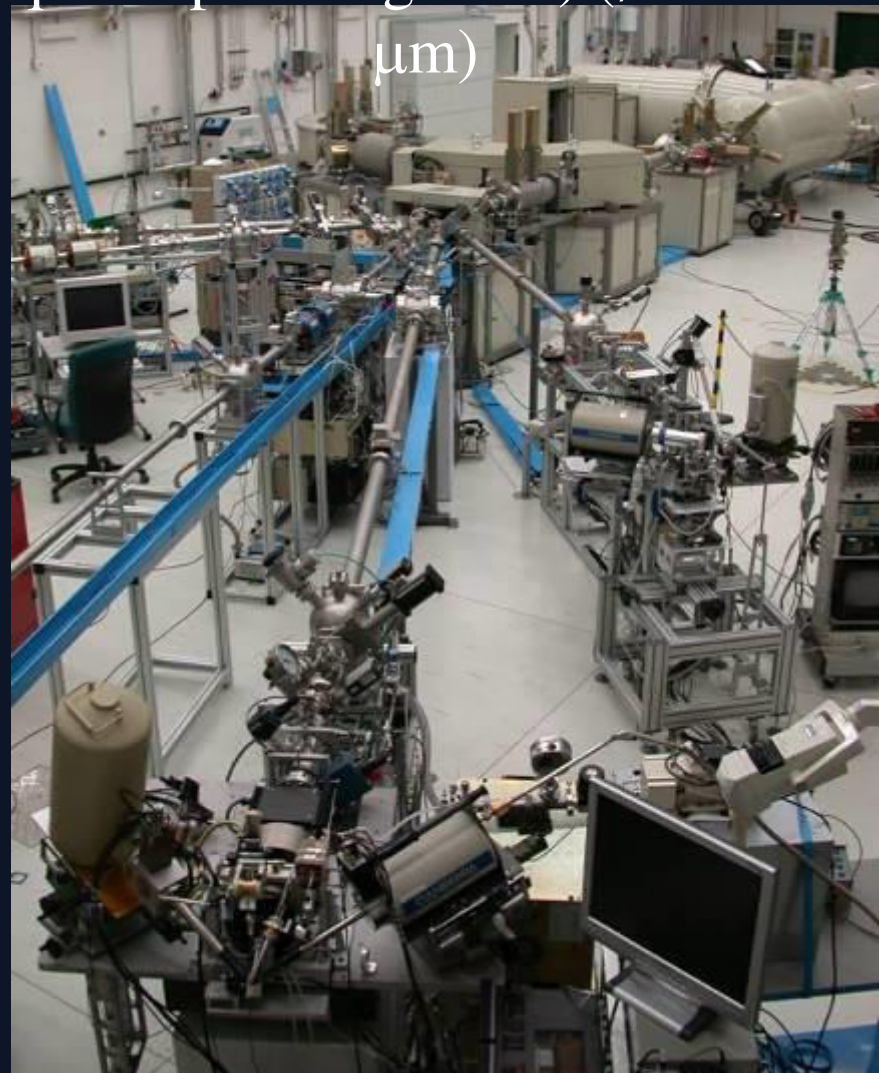




# Al LABEC ci sono tre linee di fascio esterno

due, con dimensione del fascio definita per collimazione ( $\varnothing$  0.2 ÷ 2 mm)


una, con un sistema di foccheggiamento forte (doppietto di quadrupoli magnetici) ( $\varnothing$  8 ÷ 10  $\mu\text{m}$ )



*Al microfascio esterno, con sistemi a scansione si possono ricavare mappe di distribuzione degli elementi sulla superficie dell'opera*

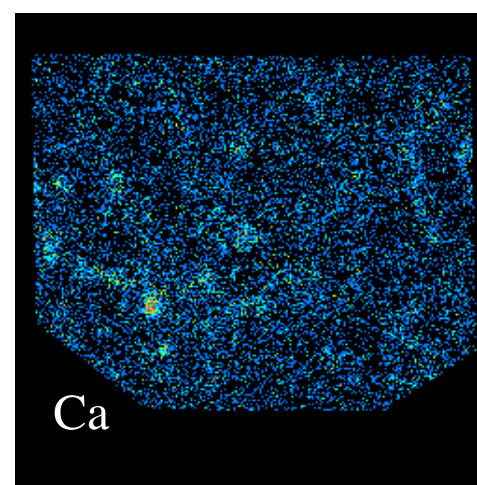
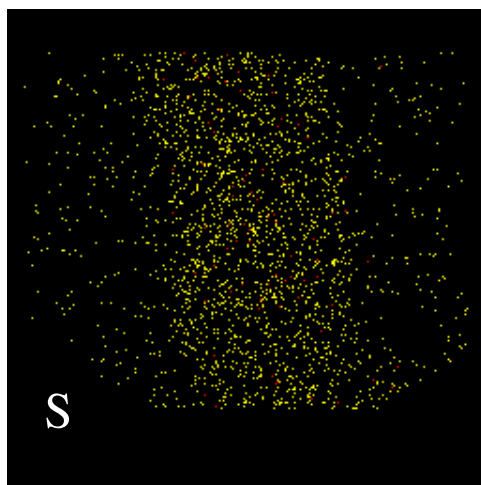
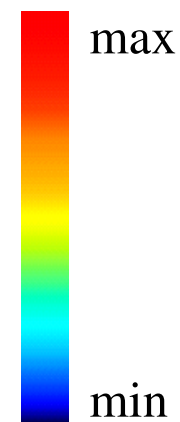
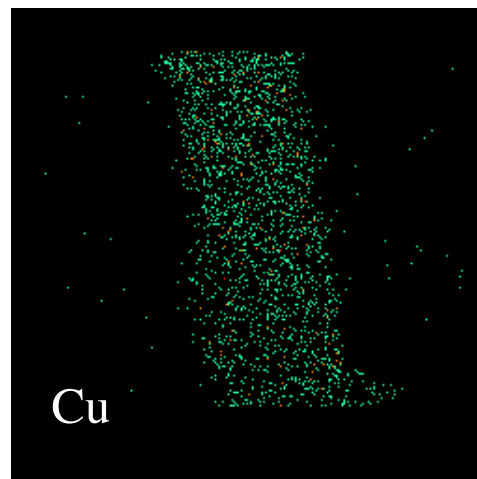
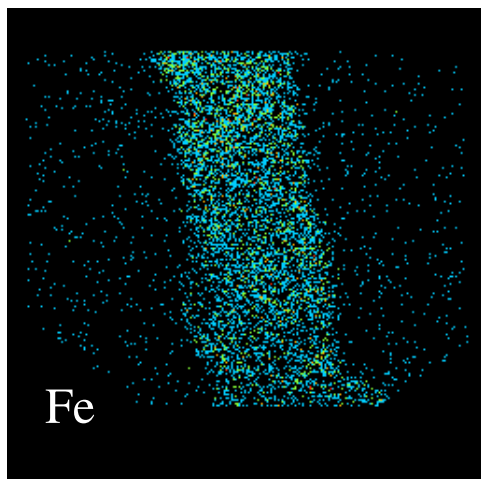
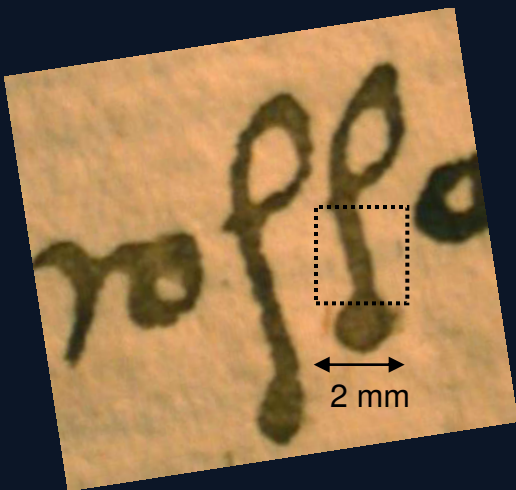
come nella microsonda elettronica, ma con due vantaggi cruciali:

- molto maggior sensibilità (elementi in traccia)
- ancor più importante per i BBCC, il “bersaglio” non è in vuoto: → non c'è bisogno di prelievi

A close-up photograph of a complex scientific instrument, likely a particle detector or spectrometer. The image shows several cylindrical components, some with black and silver finishes, and others with gold-colored sections. A dotted white line originates from the right side of the frame and points towards a small, bright spot at the tip of a silver cylindrical component. An arrowhead at the end of this dotted line points to the left, with the word "beam" written in a cursive font below it. In the lower foreground, a metal component is visible with the text "CALIBRATED" and "RECEIVED" printed on it, along with some smaller, less legible text. The background is slightly out of focus, showing more of the instrument's structure.

*beam*

# *Distribuzione degli elementi nell'inchiostro di un documento del XVII secolo*



*“allerta” di un  
inizio di  
deterioramento?*



# Antonello da Messina

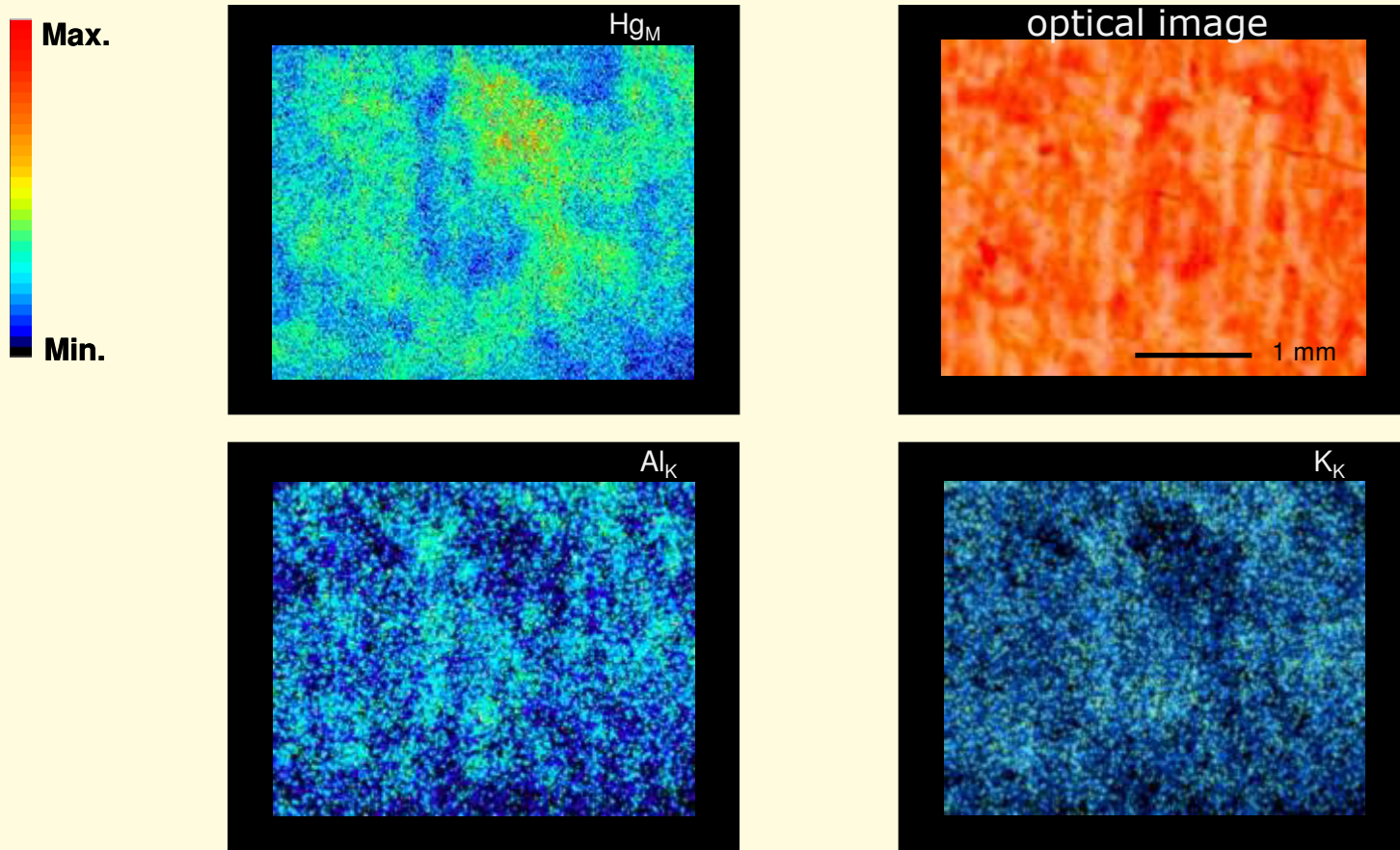
Ritratto di uomo, noto  
anche come  
Ritratto Trivulzio

*Torino, Museo Civico di  
Palazzo Madama*

Olio su tavola, 38 x 30 cm<sup>2</sup>

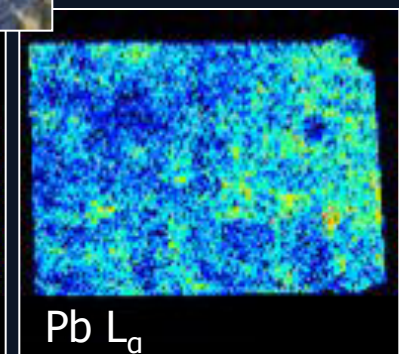
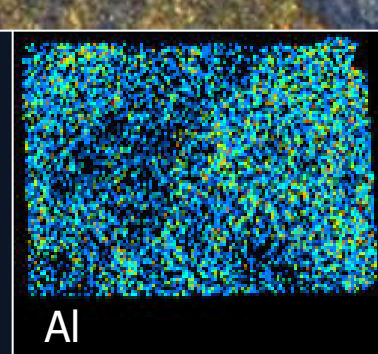
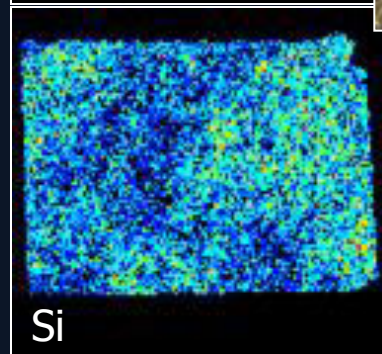
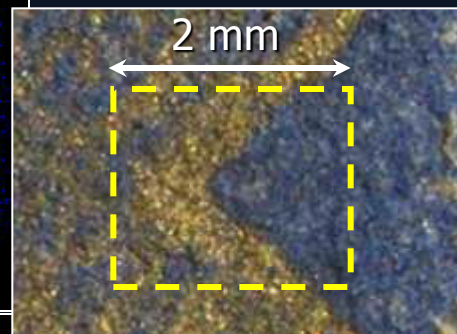
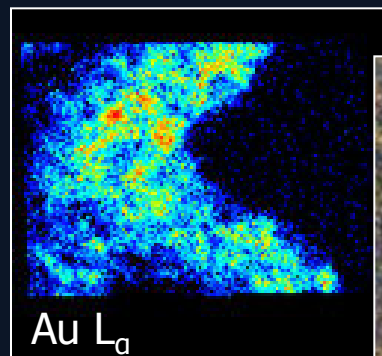
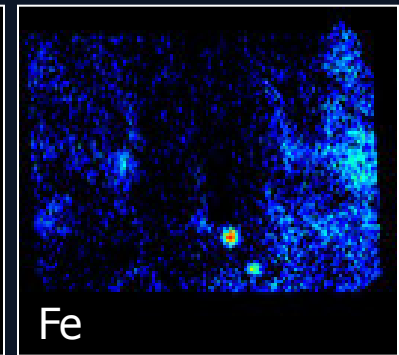
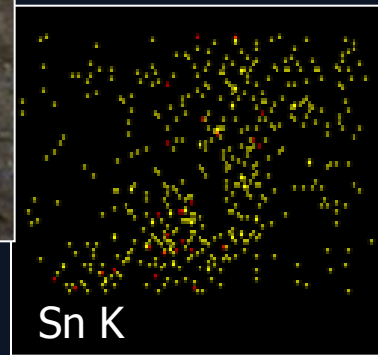
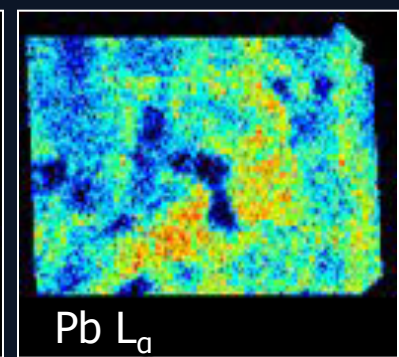
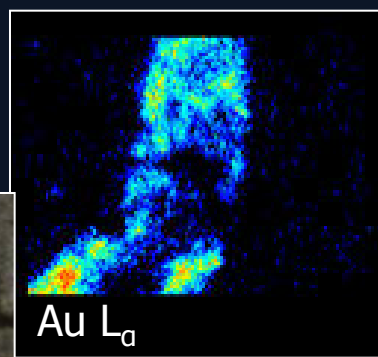
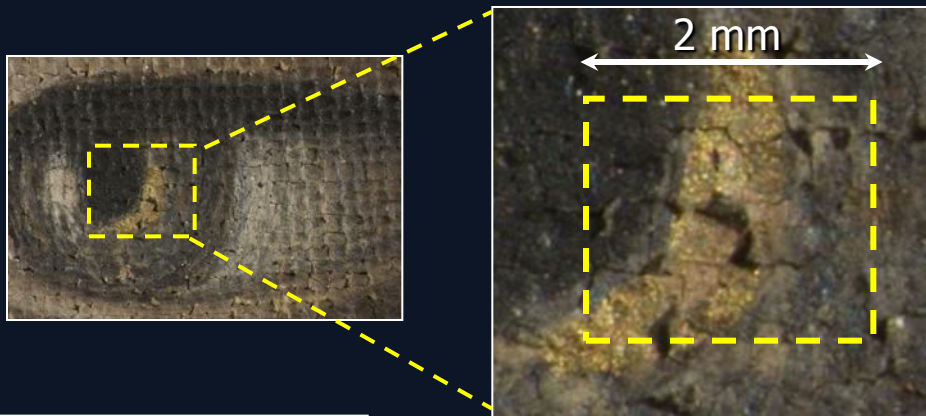
1476

# Ritratto Trivulzio: misure $\mu$ -PIXE esterno a scansione



Al e K sono correlati con aree più scure ( $\rightarrow$  **lacca rossa**) e sono in superficie; Hg e S (**cinabro**) derivano dallo strato sottostante

*Mantegna, Madonna col Bambino (1460)*  
Accademia Carrara (Bergamo)





# X Ray Fluorescence (XRF)

*Nella XRF si produce, come nella PIXE, l'emissione di raggi X dagli atomi*

*Però, ciò che induce l'emissione non è un fascio di ioni ma un fascio di radiazione elettromagnetica (ad es. raggi X “primari” che si possono ottenere con un semplice tubo a raggi X, un oggettino delle dimensioni di qualche cm)*

*Ha degli svantaggi rispetto alle tecniche IBA (meno quantitativa, meno sensibile per la rivelazione di elementi leggeri...)*

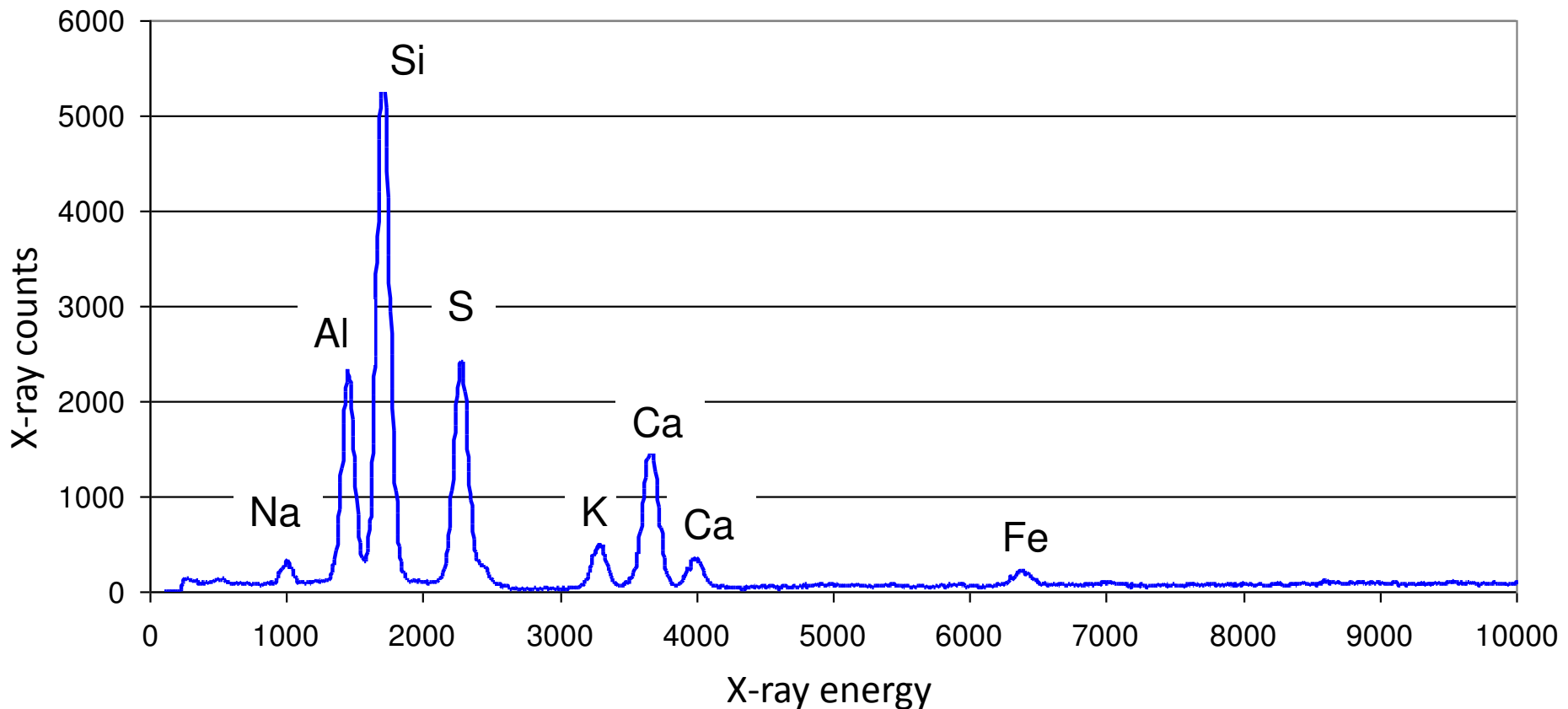
*ma si può rendere **TRASPORTABILE!***

Nell'ambito della rete INFN-Chnet  
abbiamo realizzato sistemi XRF **portatili**  
di nuova generazione

che per numerosi aspetti si avvicinano alle  
prestazioni delle tecniche IBA

Con qualche trucco “furbo” lo svantaggio rispetto alle IBA si riduce molto. Per esempio, usando il nostro sistema XRF portatile....

Stesura di blu oltremarino su una preparazione a gesso





Piero della Francesca, Sansepolcro



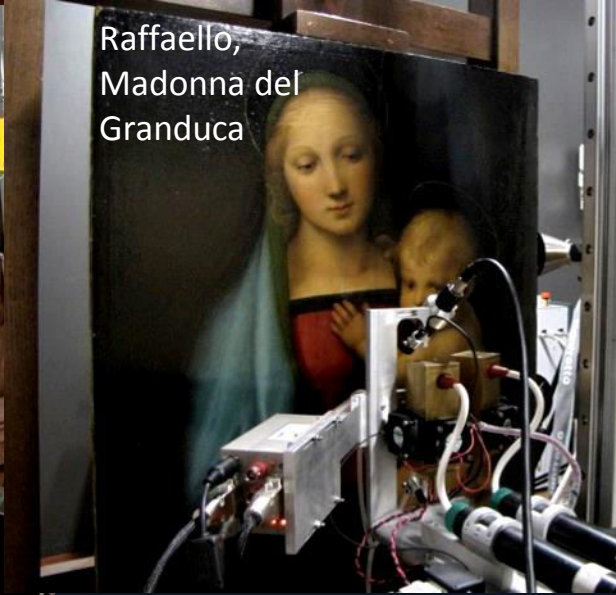
Maestro di Figline, S. Croce, Florence



Chimera di Arezzo, Museo Archeologico Firenze



Giotto, S. Croce, Florence



Raffaello, Madonna del Granduca



Beato Angelico, S. Marco, Firenze

# XRF (X Ray Fluorescence)



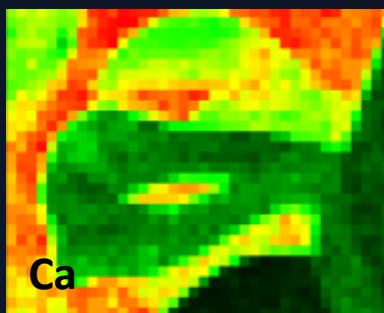
Un sistema XRF a  
scansione della rete  
INFN- CHNet è  
installato in permanenza  
all'Opificio delle Pietre  
Dure a Firenze



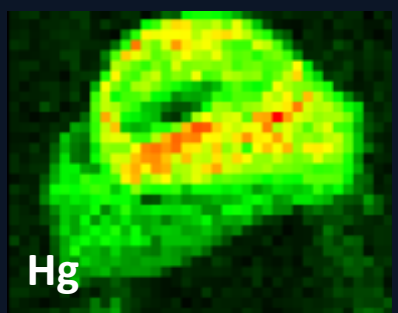
IR



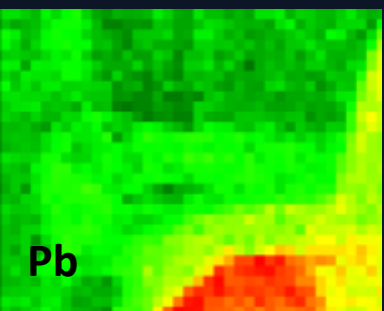
visibile



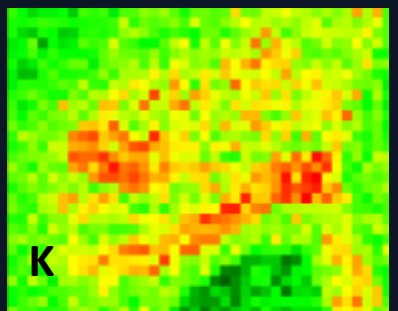
Ca



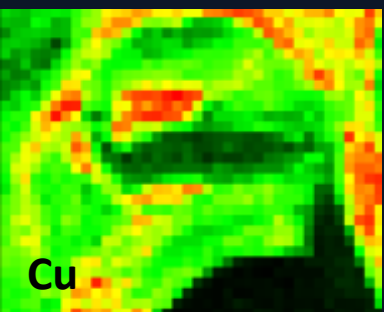
Hg



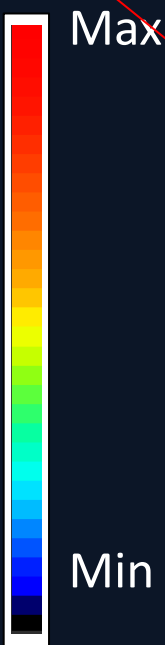
Pb



K

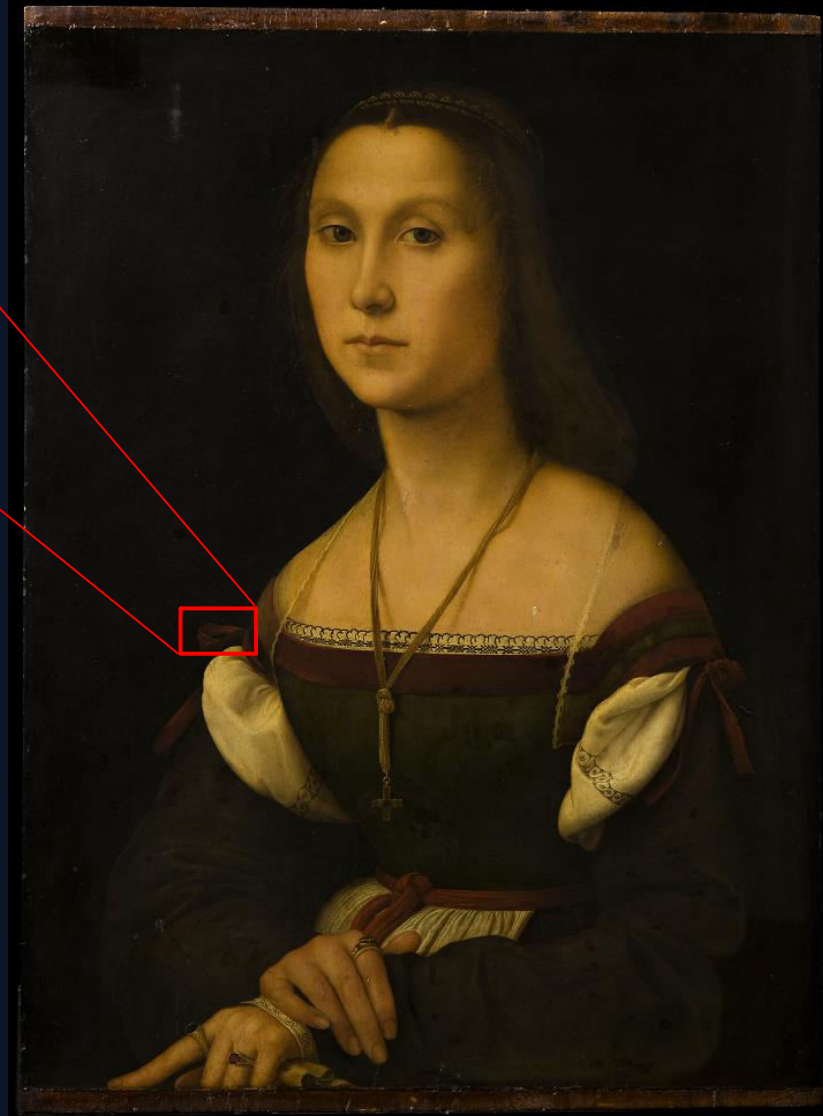


Cu

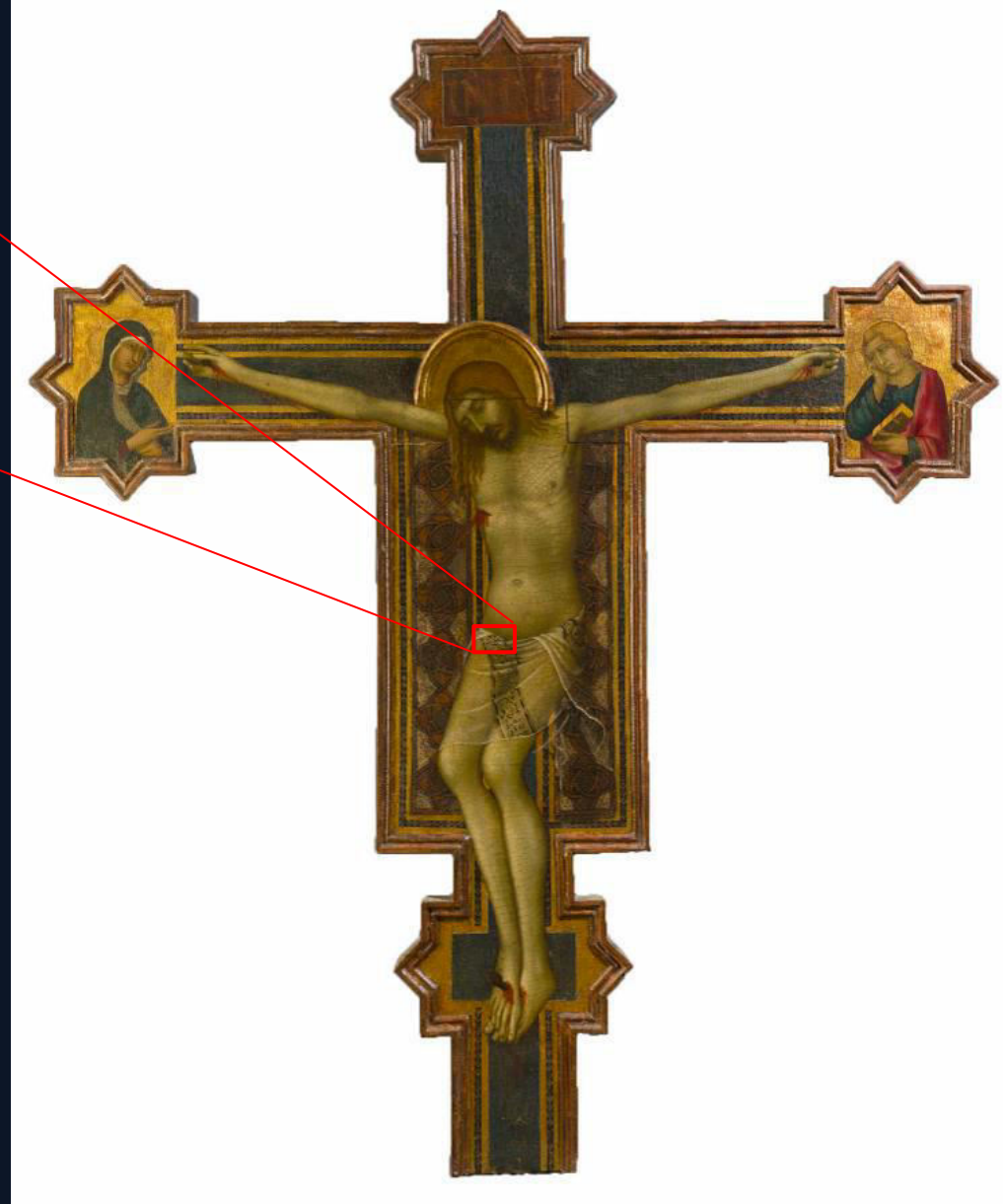
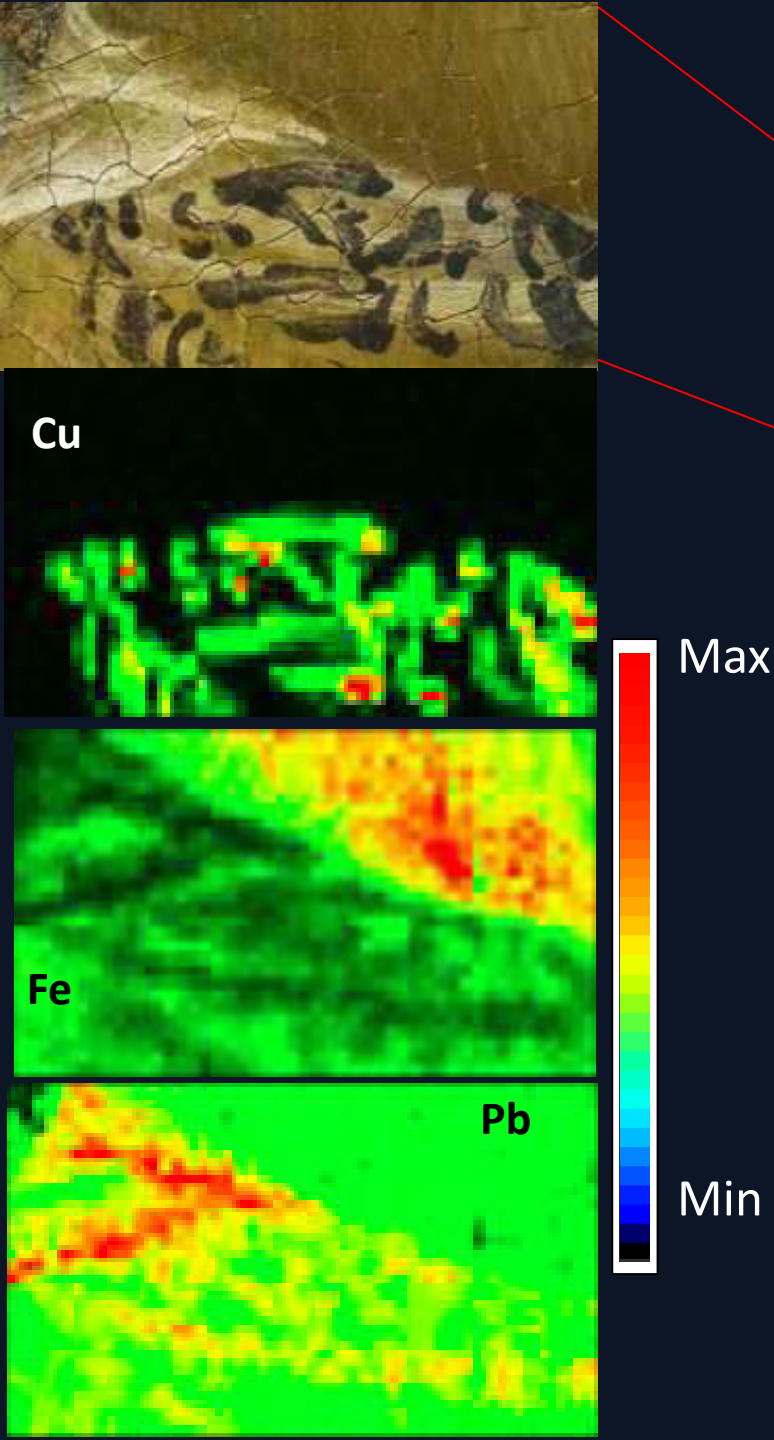


Max

Min



Raffaello, La Muta  
Galleria Nazionale delle Marche,  
Urbino  
*attualmente in restauro all'OPD*

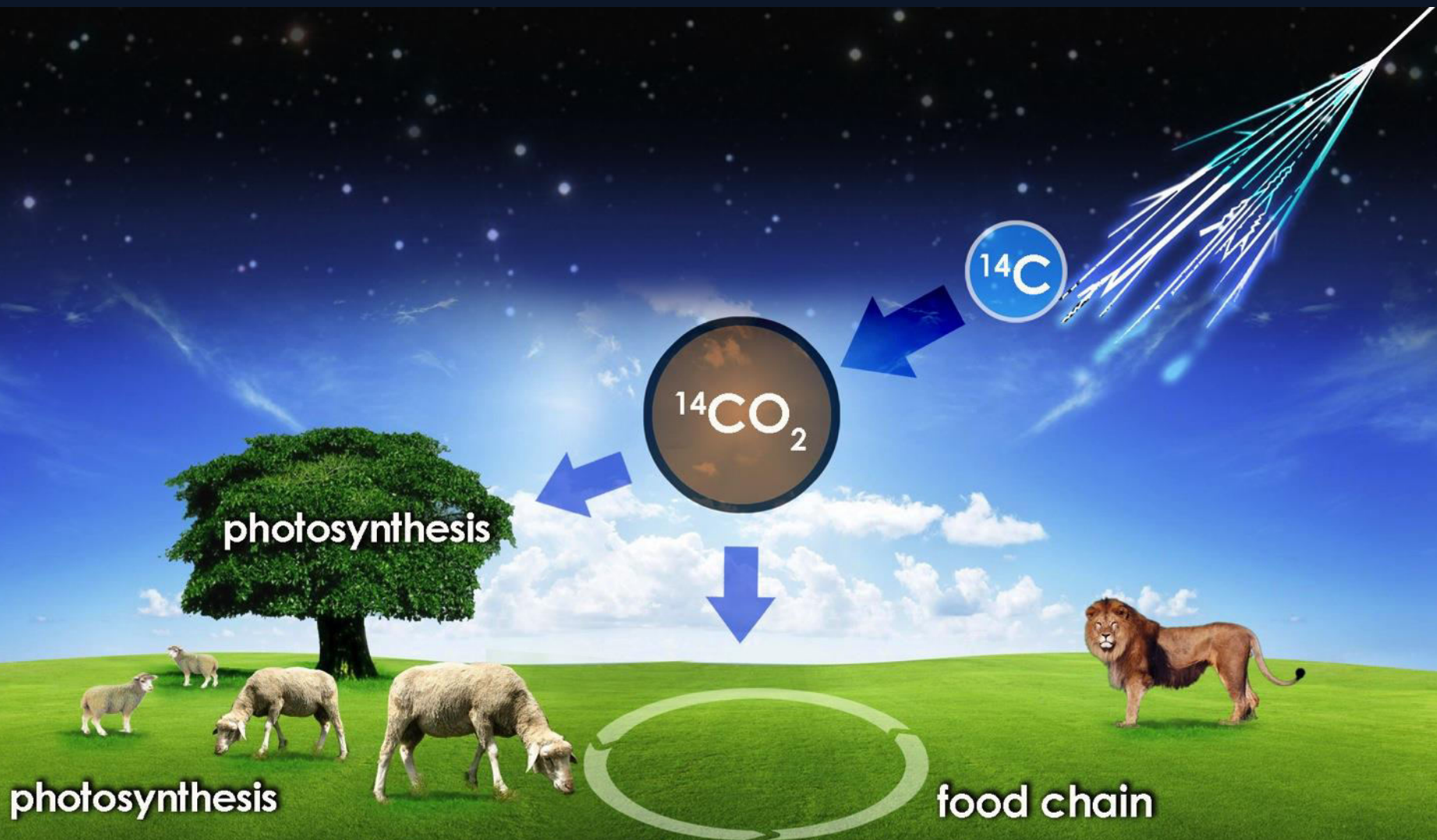


Simone Martini, Crocifisso della Chiesa della Misericordia, San Casciano V.P. attualmente in restauro all'OPD



*Radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ )*

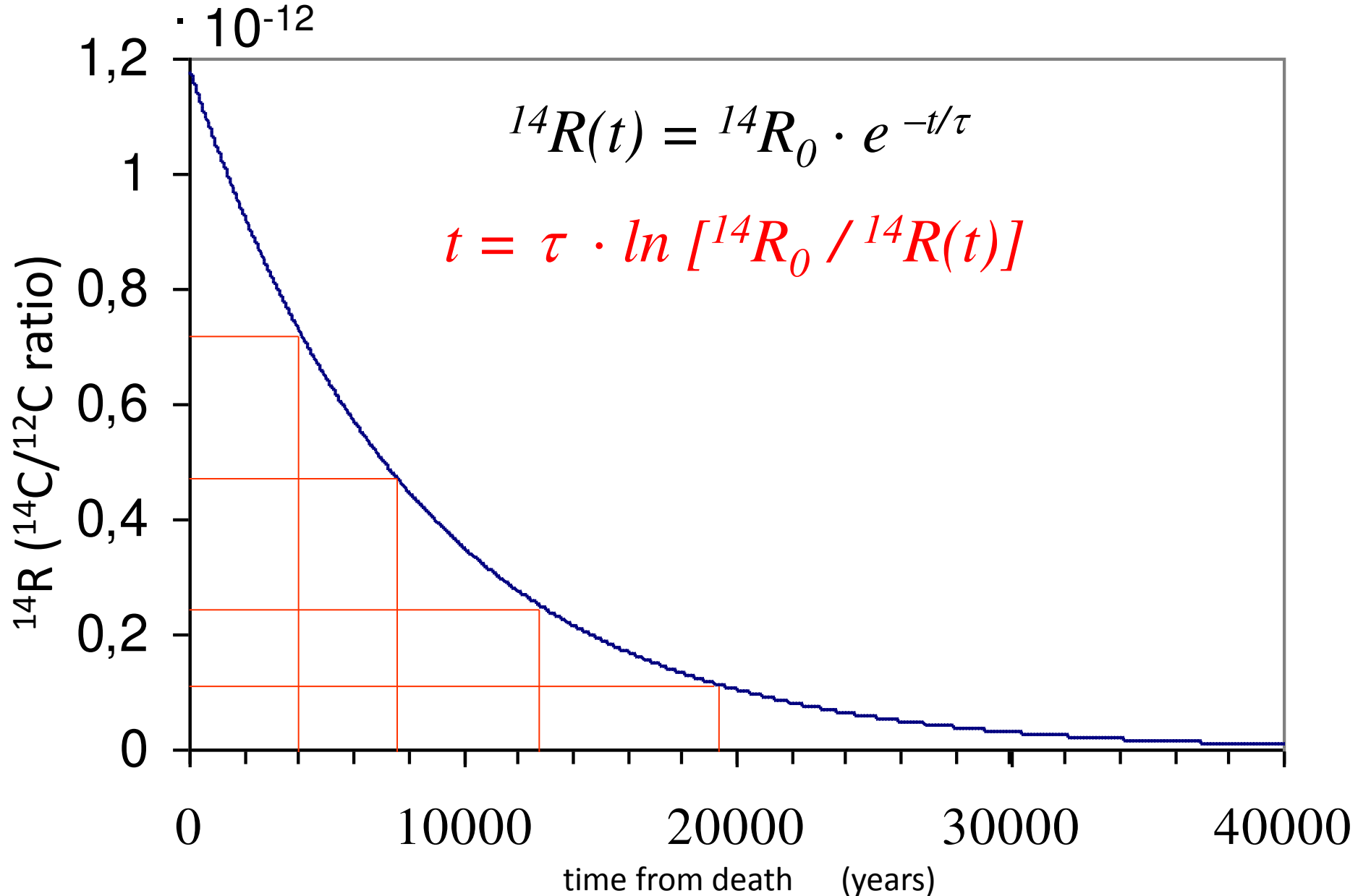
# *Principio delle datazioni col $^{14}\text{C}$*



# *Principio delle datazioni col $^{14}\text{C}$*

A partire dalla morte di un organismo, il decadimento radioattivo del  $^{14}\text{C}$  non è più “compensato” da alcun apporto per vie metaboliche. Perciò, la concentrazione del  $^{14}\text{C}$  nei resti di un organismo, dopo la morte progressivamente diminuisce

# Principio delle datazioni col $^{14}\text{C}$



*La misura di concentrazione di radiocarbonio è la chiave per datare tutti i reperti di origine organica (data  $\equiv$  tempo dalla morte dell'organismo di origine):*

*ricostruzione cronologica assoluta di sequenze archeologiche*

*autenticazioni di opere d'arte*

*compatibilità di reliquie con la loro presunta attribuzione*

Come si misurano concentrazioni residue così  
piccole di  $^{14}\text{C}$ ?

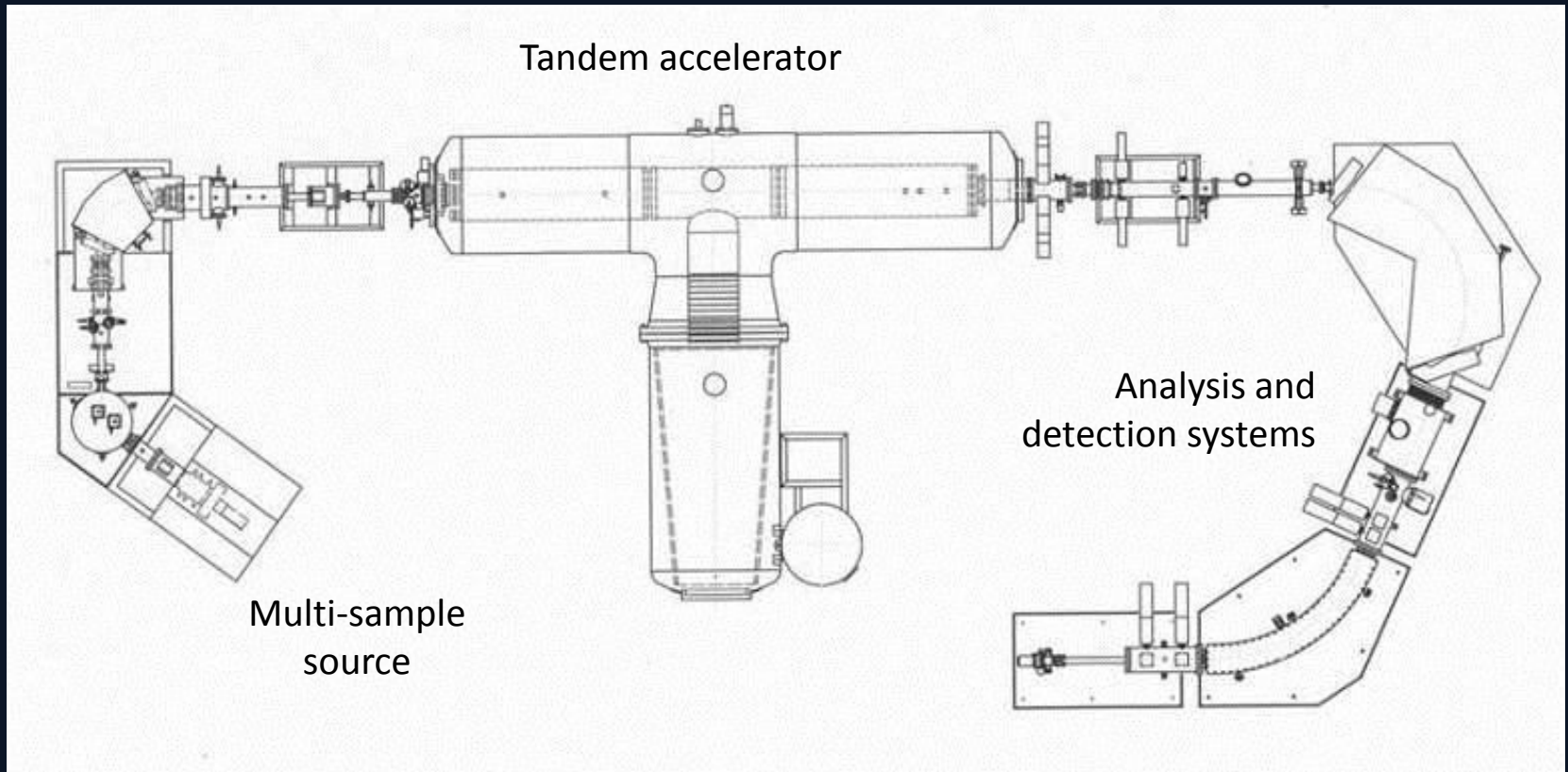
Con metodi e strumenti della Fisica Nucleare:  
in particolare, usando acceleratori di  
particelle, con la tecnica della  
Accelerator Mass Spectrometry  
(AMS)

Nell'AMS, si mette nella sorgente di ioni di un Tandem una piccola quantità di grafite, ottenuta dal carbonio del reperto da datare, ottenendone un fascio “estraendo” gli atomi dal materiale

Dopo aver accelerato gli ioni a energie elevate, si possono separare a seconda delle diverse masse sfruttando le traiettorie differenti che ioni di masse diverse fanno in campi magnetici e elettrici

# Misura del $^{14}\text{C}$ con AMS

Lo *stripping* al terminale ad alta tensione “distrugge” gli isobari molecolari  $^{13}\text{CH}$  e  $^{12}\text{CH}_2$  rompendo i legami fra i C e gli H



Sorgente di ioni negativi (elimina l'interferenza del  $^{14}\text{N}$ )

Analisi magnetica + elettrostatica + sistemi di rivelazione ad alta energia (rimuove le interferenze residue)



# La sfida dell' AMS

raggiungere un'enorme sensibilità  
pur mantenendo alta precisione

In effetti, occorre misurare concentrazioni di  $^{14}\text{C}$   
bassissime (fino a  $10^{-15}$ ) con  
piccola incertezza

(ad es.: un errore dello 0.5% sulla concentrazione  
corrisponde a 40 anni sull'età)

La spettrometria di massa con acceleratore  
ci riesce

# *Misura del $^{14}\text{C}$ con AMS*

*Sensibilità a concentrazioni fino a  $10^{-15}$*

*→ sono databili reperti risalenti fino a oltre  
50000 anni fa*

*.. e bastano piccolissime quantità di materiale  
(pochi milligrammi, o anche meno)*



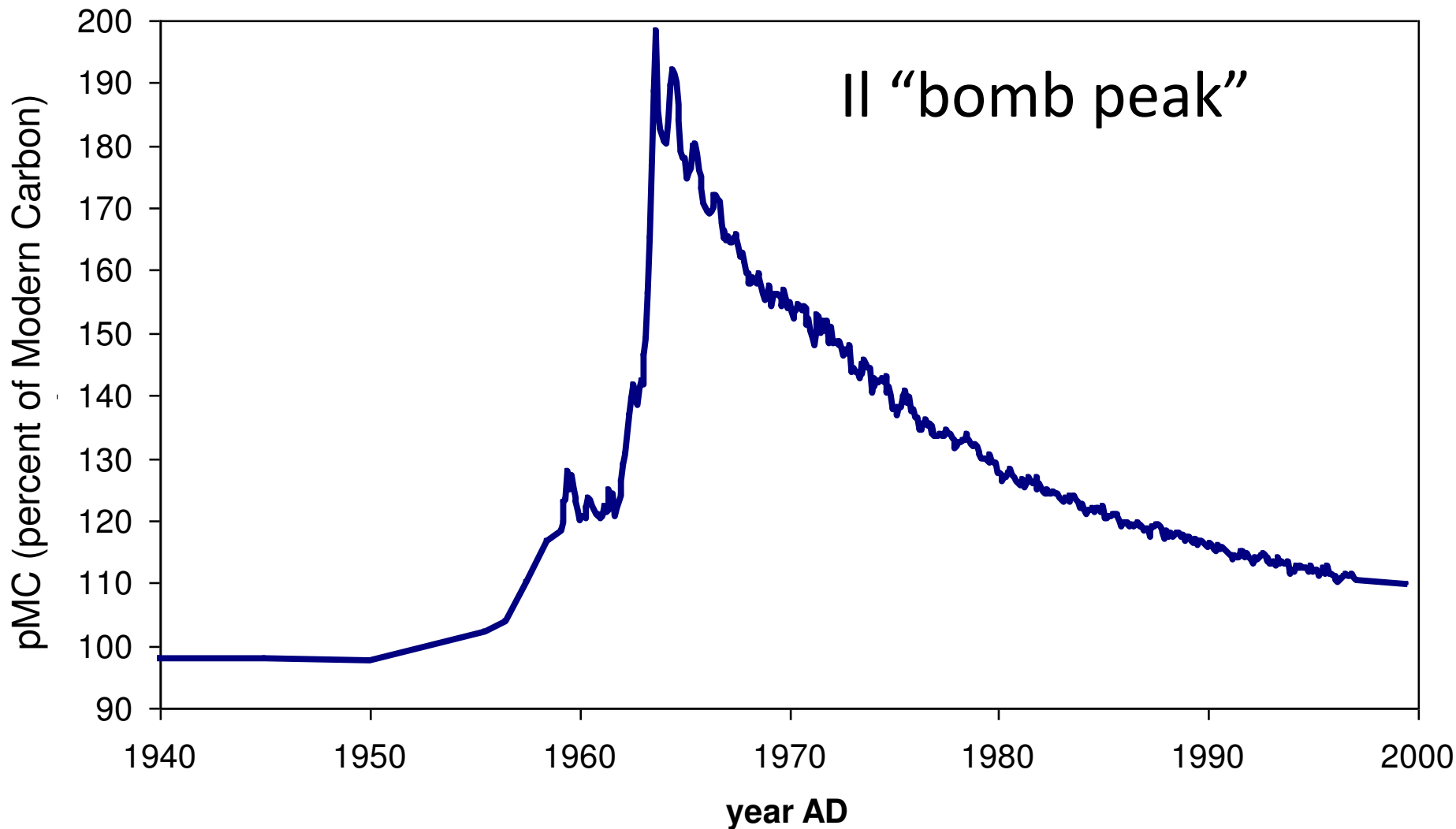


*Le applicazioni tradizionali delle  
datazioni col  $^{14}\text{C}$  sono in Archeologia, o  
per reperti storici*

*In ogni caso, in problemi dove si ha a  
che fare con “roba” vecchia (o molto  
vecchia!)*

*Recentemente tuttavia abbiamo  
proposto e applicato con successo  
una idea originale per sfruttare  
misure di  $^{14}\text{C}$  per la scoperta di  
falsi di arte contemporanea*

# *Sfruttare l'effetto delle esplosioni nucleari in atmosfera durante la guerra fredda*



Quando si misura la concentrazione di  $^{14}\text{C}$  di un supporto di un quadro, si ottiene solo un *terminus post quem* per la creazione dell'opera

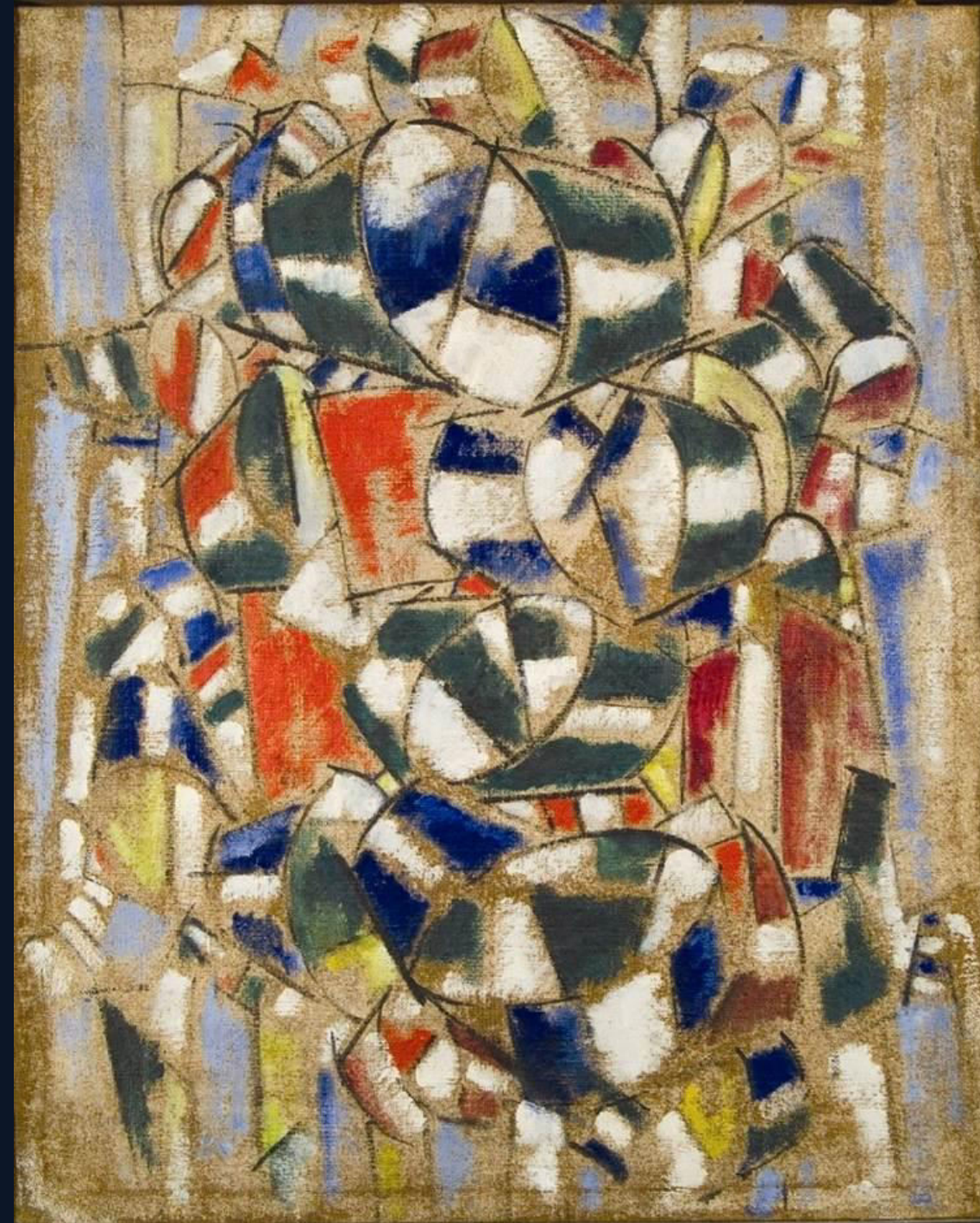
In caso di sospetti sull'autenticità, anche se la data del supporto “torna” con la data presunta del quadro, si può solo dichiararne la “compatibilità”



Ma se viene fuori che il supporto risale a un periodo più recente della presunta data di esecuzione del quadro, non c'è dubbio:

in questo caso si tratta di

una prova inequivocabile di un falso!



# Fernand Léger, Contraste de Formes

olio su tela, 92x73 cm

presunto dipinto del 1913-14

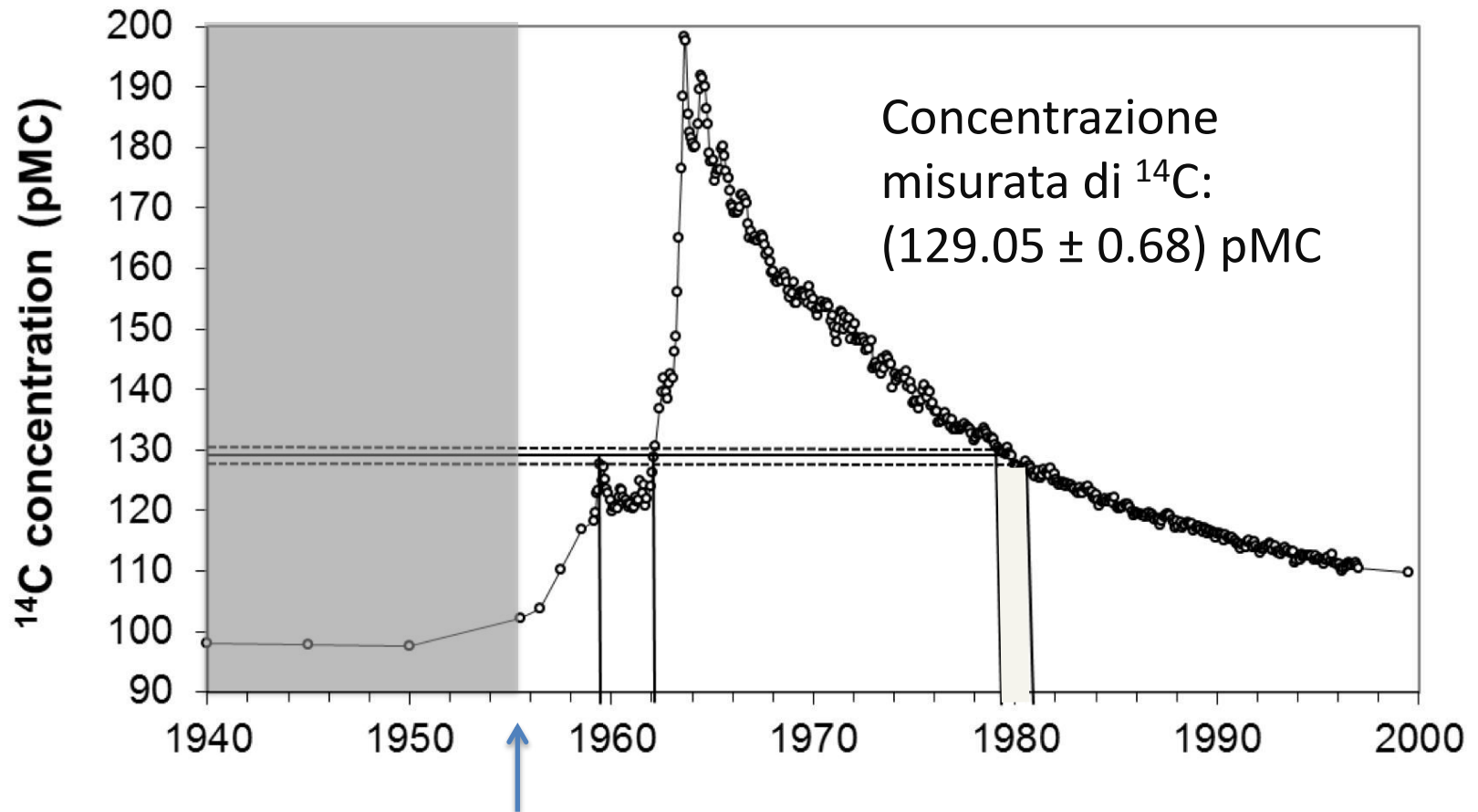
acquistato da Peggy  
Guggenheim per la Venice  
Foundation alla fine degli  
anni '60

mai esposto al pubblico a  
causa di sospetti subito  
insorti che si trattasse di un  
falso

(notevolissimo esempio di  
correttezza)



La tela era stata prodotta con  
piante di cotone tagliate nel  
**1959, o 1962, o 1979-80**



morte di Léger → il dipinto è falso

Grazie per la  
pazienza e  
buona notte!

[mando@fi.infn.it](mailto:mando@fi.infn.it)