



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Laboratori Nazionali di Legnaro

*Masterclass in fisica delle particelle  
Padova*

# **Nuclei per la cultura**

Andrea Gozzelino

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali di Legnaro

Referente CC3M dei LNL

# Sommario

- Beni culturali e fisica nucleare
- Fisica dei beni culturali con acceleratori
- Fisica dei beni culturali senza acceleratori
- La rete CH-net dell'INFN

# Sommario

- Beni culturali e fisica nucleare
- Fisica dei beni culturali con acceleratori
- Fisica dei beni culturali senza acceleratori
- La rete CH-net dell'INFN

# Beni culturali

**I beni culturali sono tutte le testimonianze, materiali e immateriali, aventi valore di civiltà.**

Opere d'arte, libri, documenti, suppellettili d'uso comune, vestiti, strumenti scientifici

L'analisi di un'opera d'arte si basa su di un approccio multidisciplinare:

analisi artistica

analisi storica

**analisi tecnologica**



Analisi dei materiali  
Tutela  
Conservazione  
Restauro  
Datazione  
Provenienza

## **DOMANDE:**

Di che materiale è fatto?

Come è fatto?

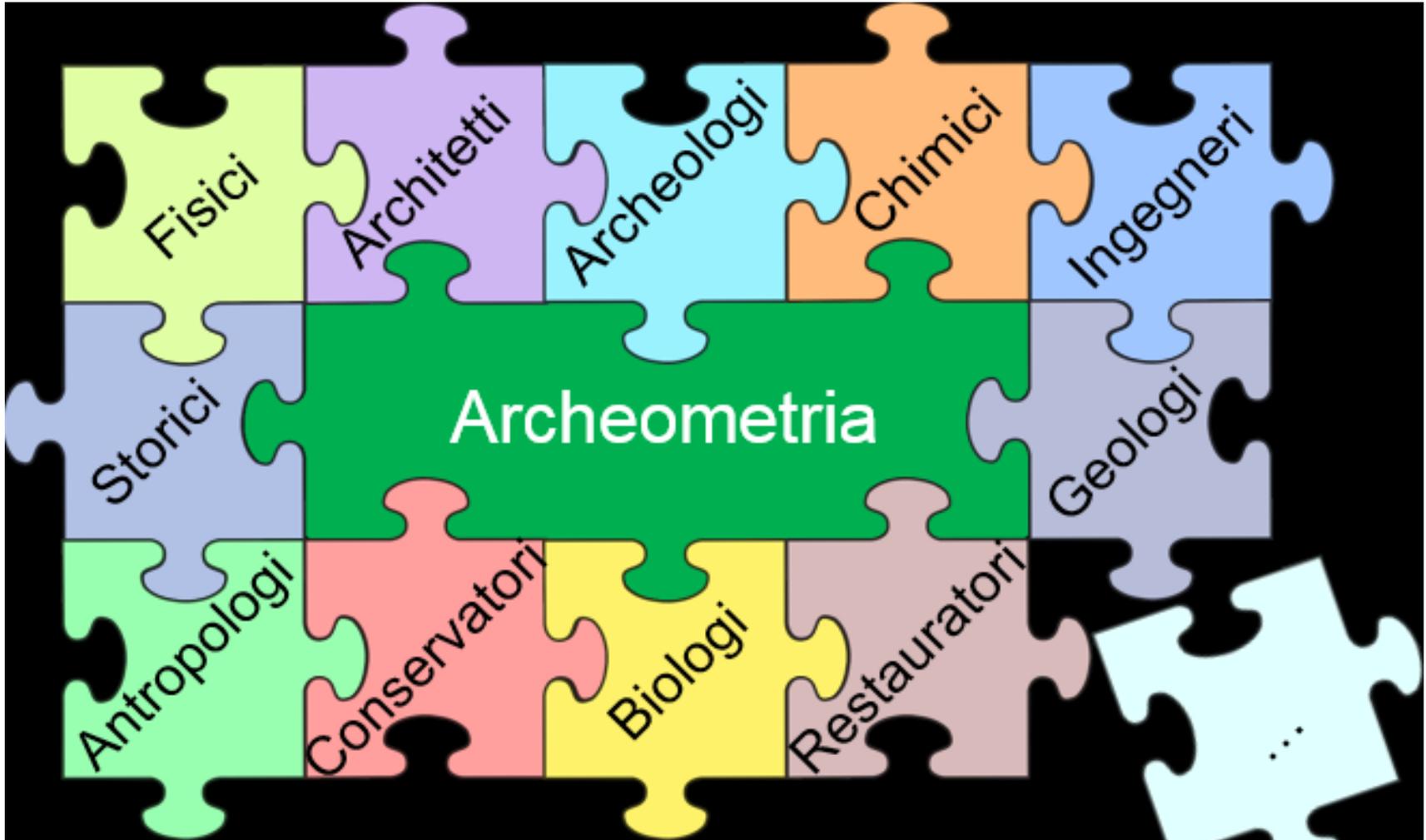
Da dove proviene il materiale di cui è composto?

E' autentico?

Qual è lo stato di degrado?

Quando è stato fatto?

# Multidisciplinarietà



# Fisica dei beni culturali con ...

Che cosa hanno in comune?

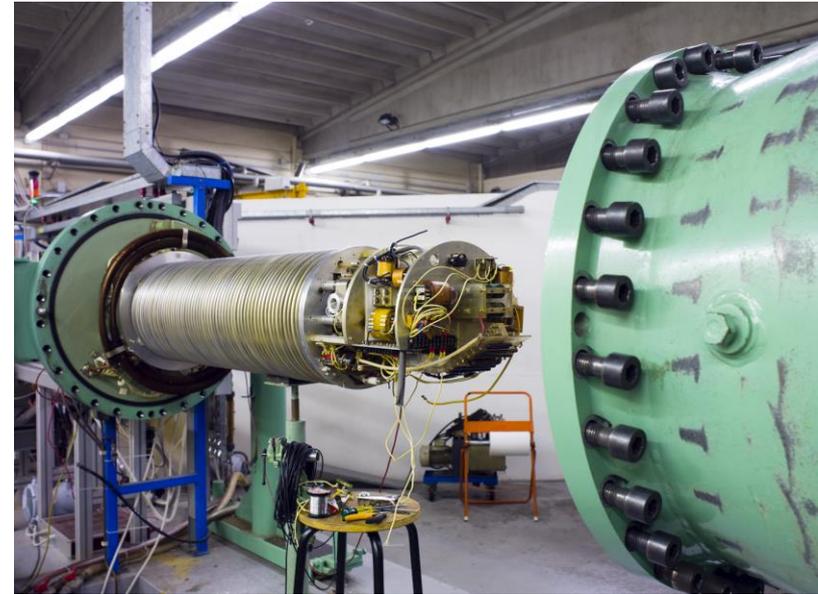


# Sommario

- Beni culturali e fisica nucleare
- **Fisica dei beni culturali con acceleratori**
- Fisica dei beni culturali senza acceleratori
- La rete CH-net dell'INFN

# Un acceleratore elettrostatico!

*Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali (LABEC) – Acceleratore Tandem*



*Acceleratore AN2000 presso  
Laboratori Nazionali di Legnaro*

# Un acceleratore per ...

per misurare la composizione dei materiali

**Ion Beam Analysis (IBA)**

*Particle Induced X-ray Emission (PIXE)*

*Back Scattering (BS)*

*Particle Induced gamma-ray Emissione (PIGE)*

*Ion Beam Induced Luminescence (IBIL)*

...

per datare i materiali (organici)

Accelerator Mass Spectrometry (AMS)

Misura della concentrazione di  $^{14}\text{C}$

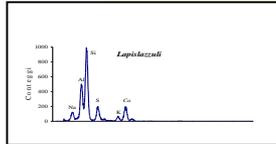
✓ Fascio in aria (esterno) al LABEC

✓ Micro fascio in vuoto ai LNL

# Ion Beam Analysis (IBA)

Analisi di composizione dei materiali usando fasci di particelle cariche (tipicamente protoni o  $\alpha$  di energia di qualche MeV).

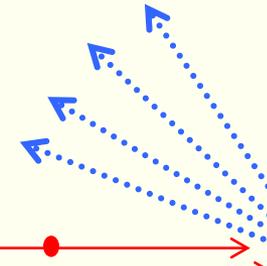
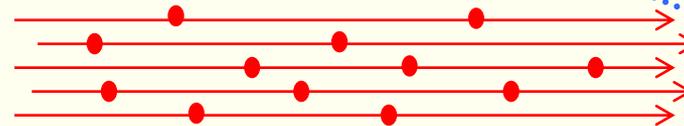
rivelazione delle radiazioni  
analisi delle loro energie con  
spettri



emissione di radiazioni (raggi X ,  
raggi  $\gamma$ ) e particelle  
di energie caratteristiche



fascio di particelle



Bersaglio

Oggetto da analizzare



L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare è pioniere della Ion Beam Analysis (IBA) applicata ai beni culturali

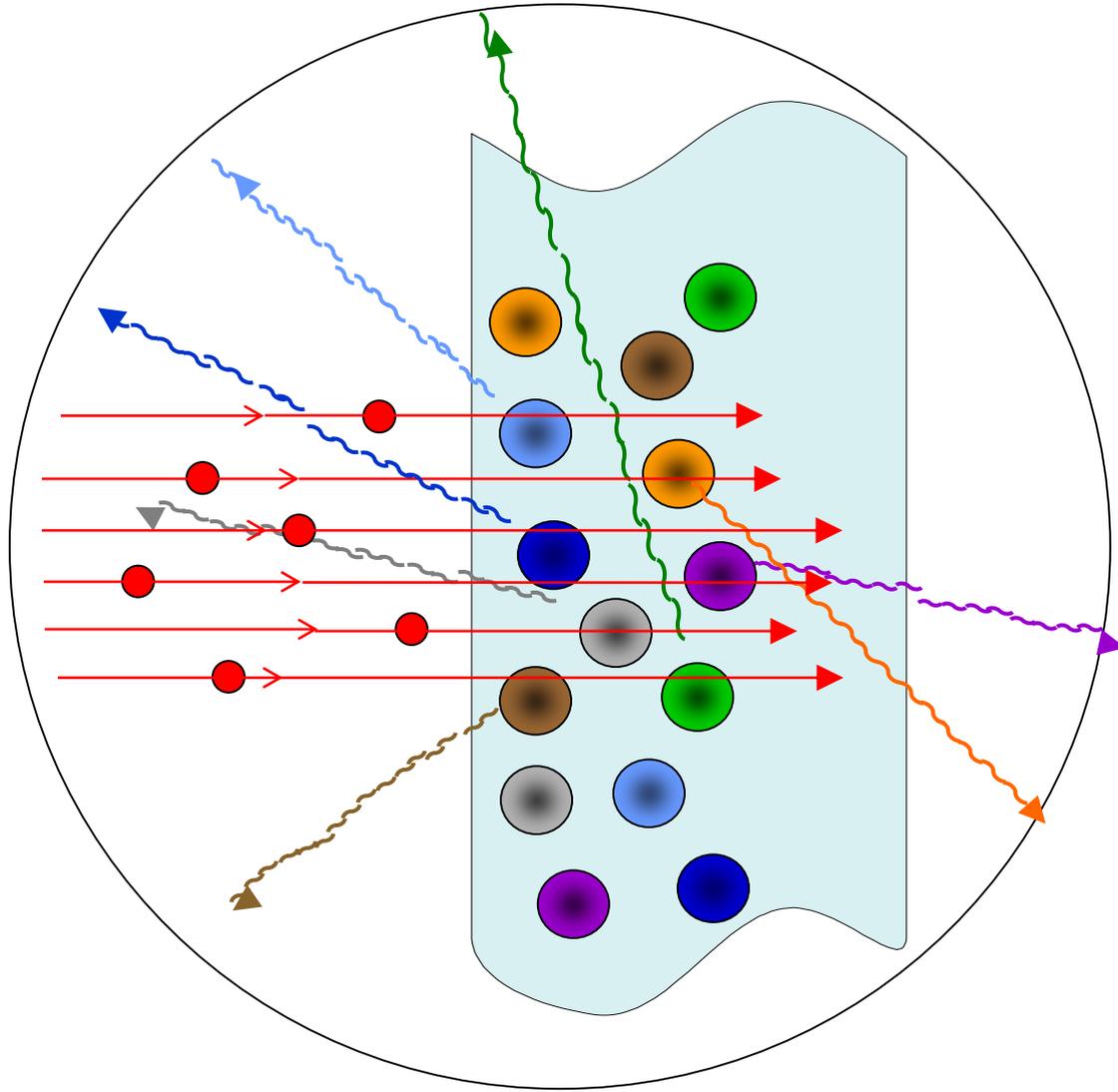


**Firenze, circa 1987**

Un acceleratore Van de Graff da 3 MV  
“ereditato” da misure di  
fisica nucleare  
fondamentale è usato per  
IBA.



# Ion Beam Analysis (IBA)

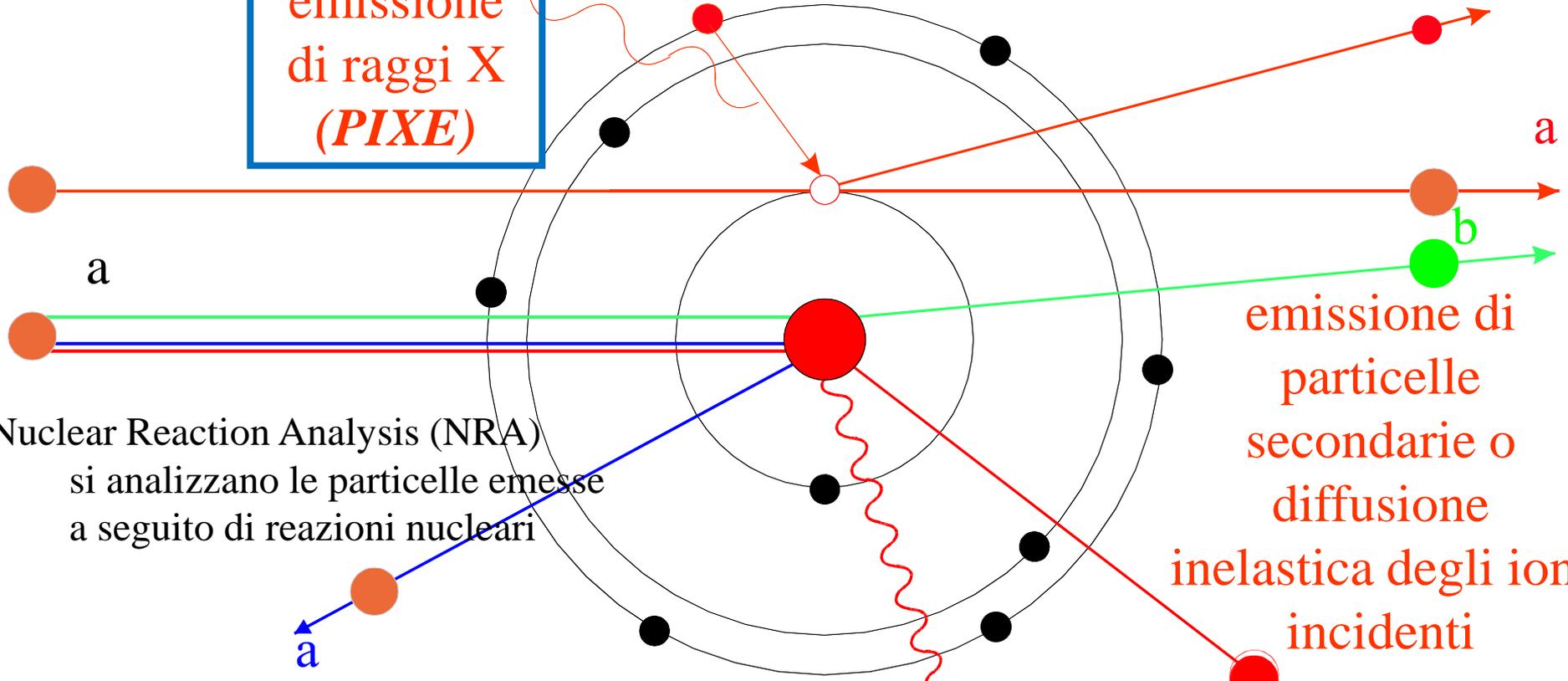


# Ion Beam Analysis (IBA)

## Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)

le particelle analizzate sono gli ioni primari retro-diffusi

emissione di raggi X  
*(PIXE)*



Nuclear Reaction Analysis (NRA)  
 si analizzano le particelle emesse  
 a seguito di reazioni nucleari

diffusione elastica degli ioni incidenti  
*(PESA)*

# Ion Beam Analysis (IBA)

**PIXE** → misura dei raggi X emessi → analisi degli elementi

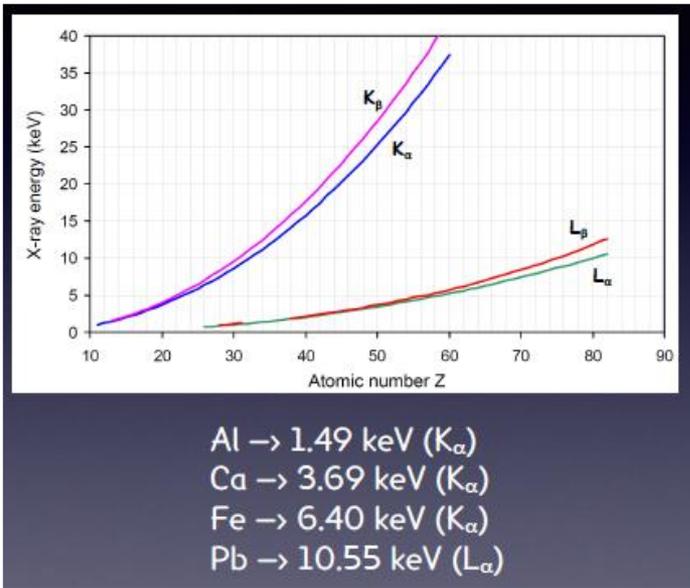
**PIGE** → misura dei raggi gamma emessi → analisi di alcuni isotopi leggeri (F, Na, Mg)

**BS** → misura delle particelle del fascio “rimbalzate” all’indietro → analisi della componente organica (C, N, O)

**IBIL** → misura della radiazione luminosa ultravioletta e visibile → analisi di alcuni legami molecolari

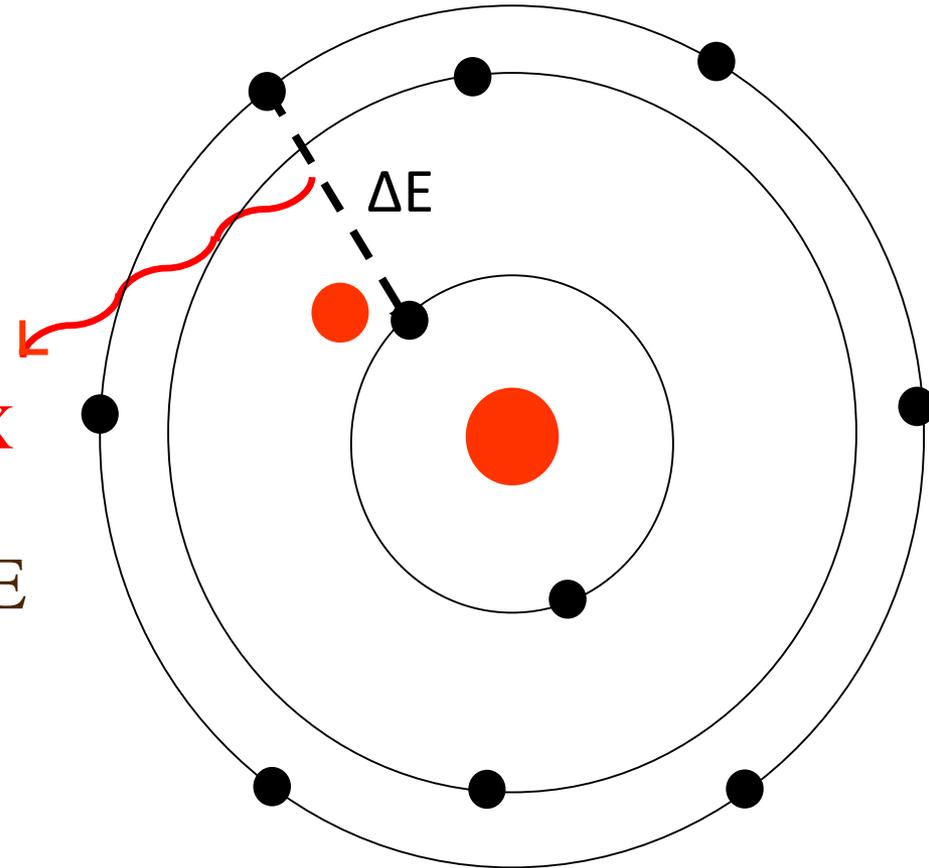
**NRA** → misura delle particelle prodotte nelle interazioni nucleari → analisi di isotopi

# Particle Induced X-Ray Emission (PIXE)



raggio X

$$E_X = \Delta E$$



L'energia del raggio X è caratteristica dell'elemento (esempio: sodio, silicio, calcio, ferro, piombo, ...)

# Pregi e difetti della PIXE

Misura dell'energia dei raggi X → Identificazione dell'elemento presente nel campione

Conteggi di raggi X di una data energia → Stima della concentrazione di quell'elemento

- ✓ Analisi multielementale

- ✓ Misura non invasiva e non distruttiva

- ✓ Misura rapida (ordine di minuti)

- ✓ Mappe elementali

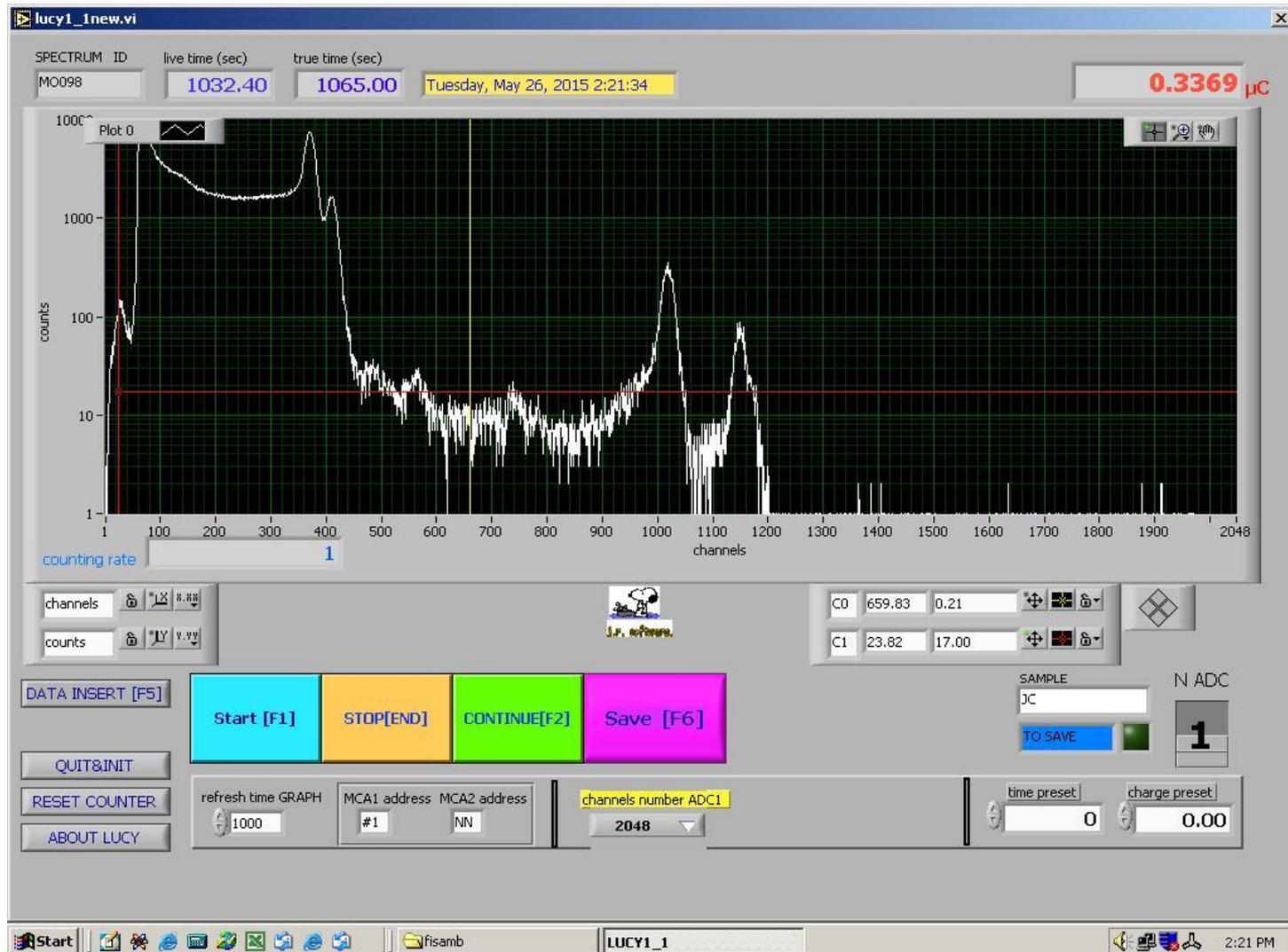
- ✓ Sensibilità dal sodio Na in poi

- ✓ Nessuna informazione sui legami chimici

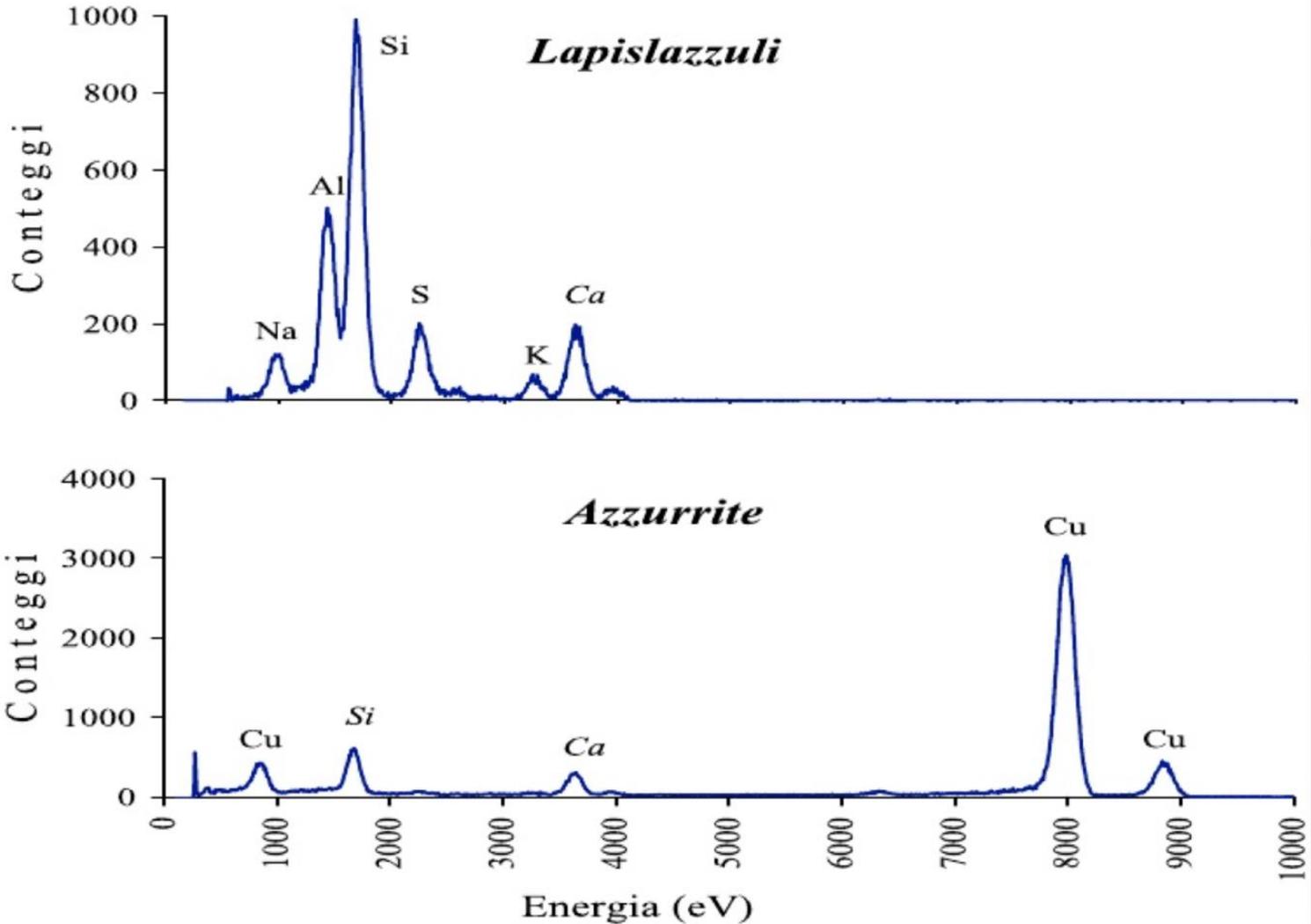
- ✓ Trasporto dei campioni in laboratorio

# I dati sono ...

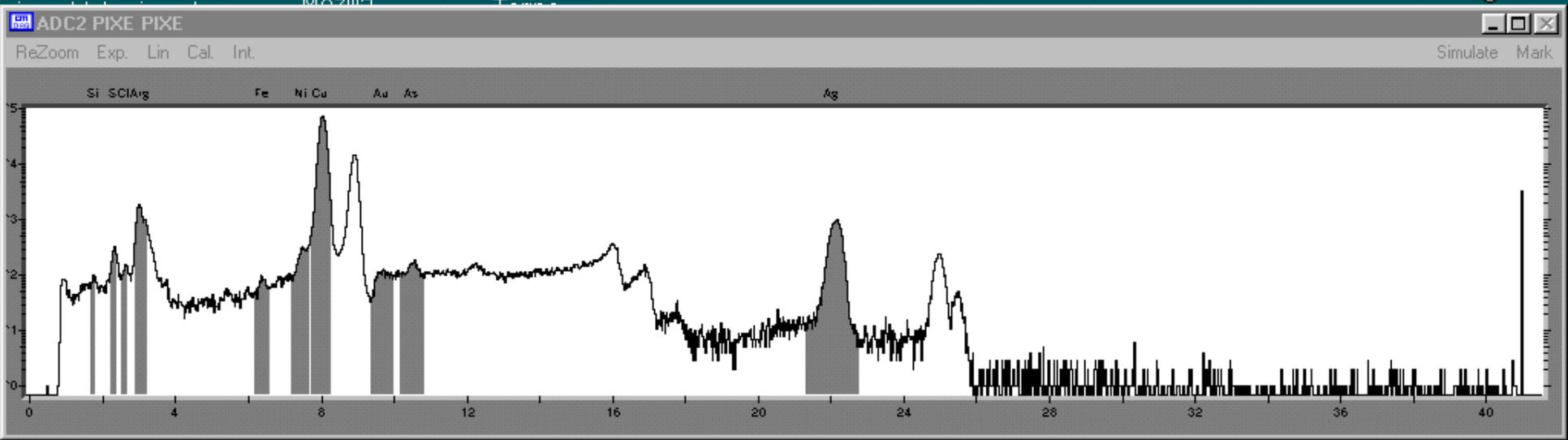
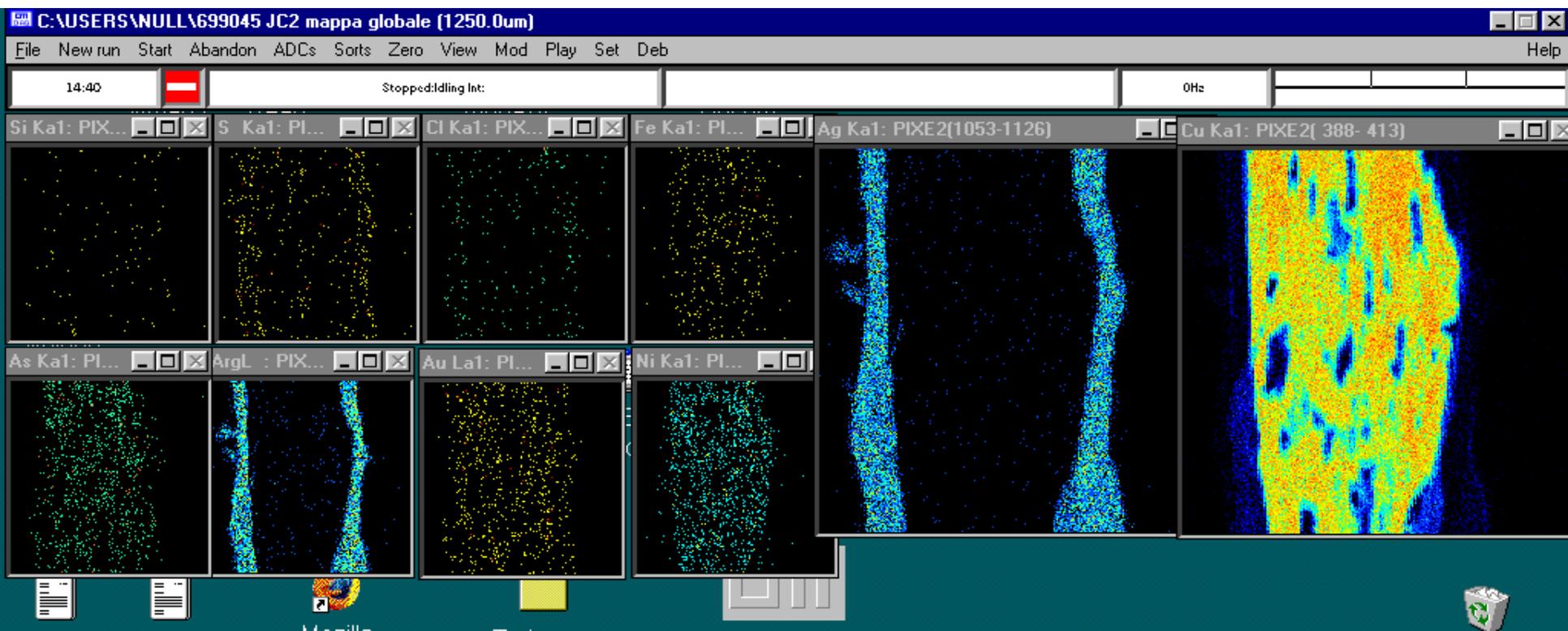
## Istogrammi



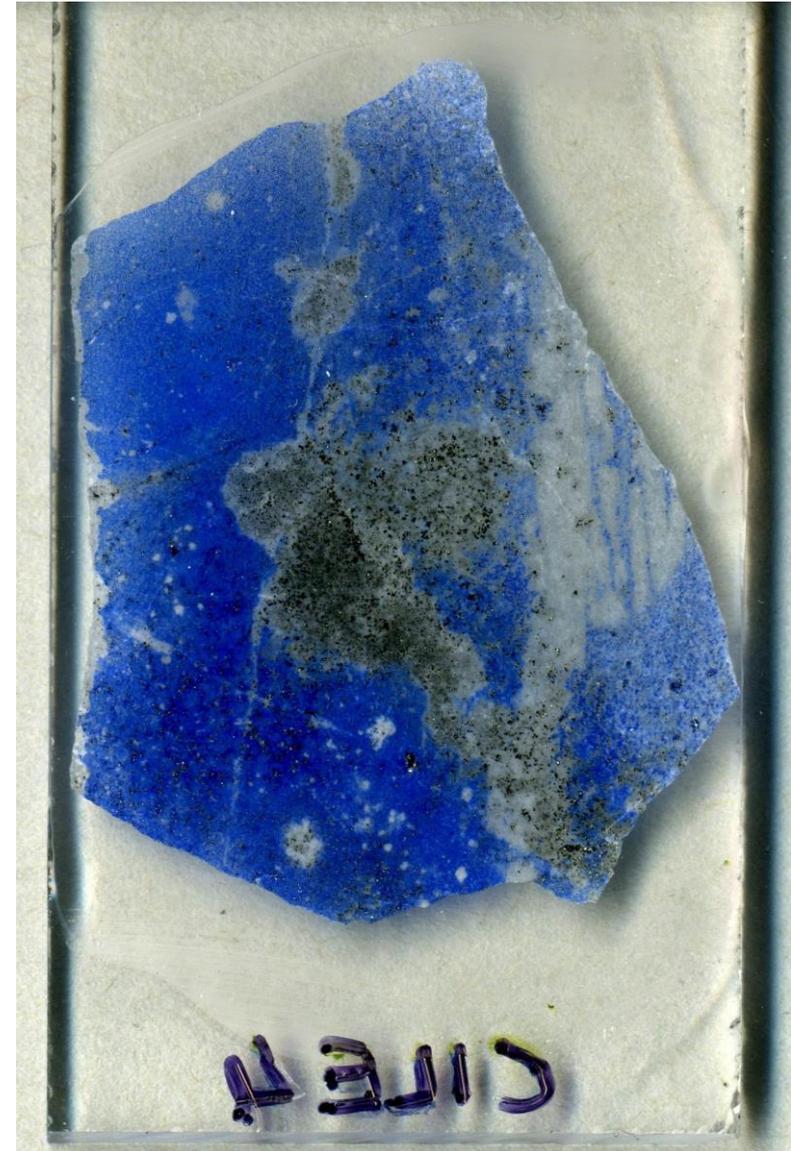
# I dati sono ...



**Istogrammi**



# Lapislazzuli

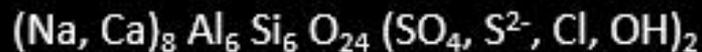


# Elementi maggiori nel lapislazzuli

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



**LAZURITE**



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



**CALCITE**  
 $\text{CaCO}_3$



**PIRITE**  
 $\text{FeS}_2$



**WOLLASTONITE**  
 $\text{CaSiO}_3$



**K-FELDSPATI**  
 $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$



Ed altri...

# Giacimenti



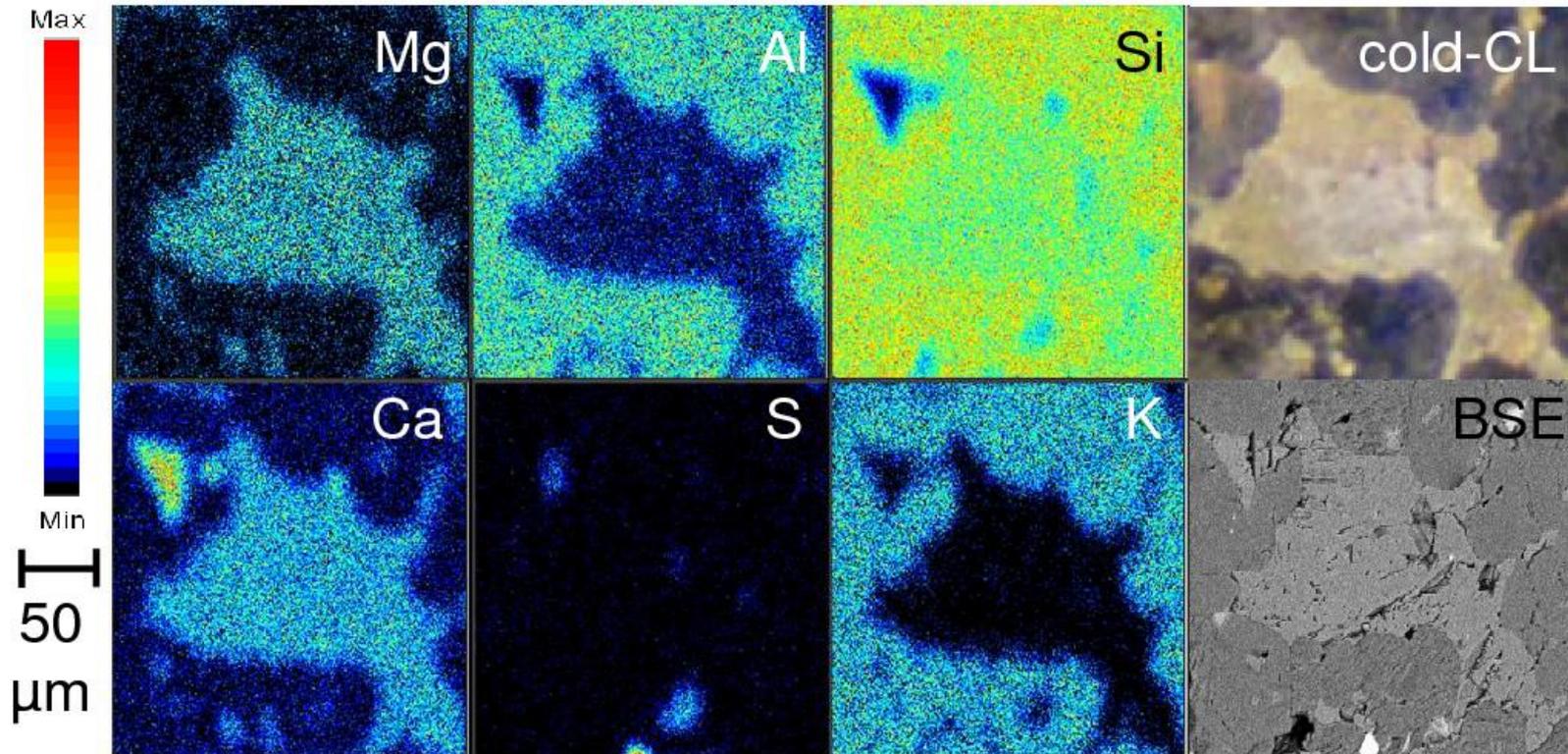
# Analisi del lapislazzulo

## Annual Report 2010

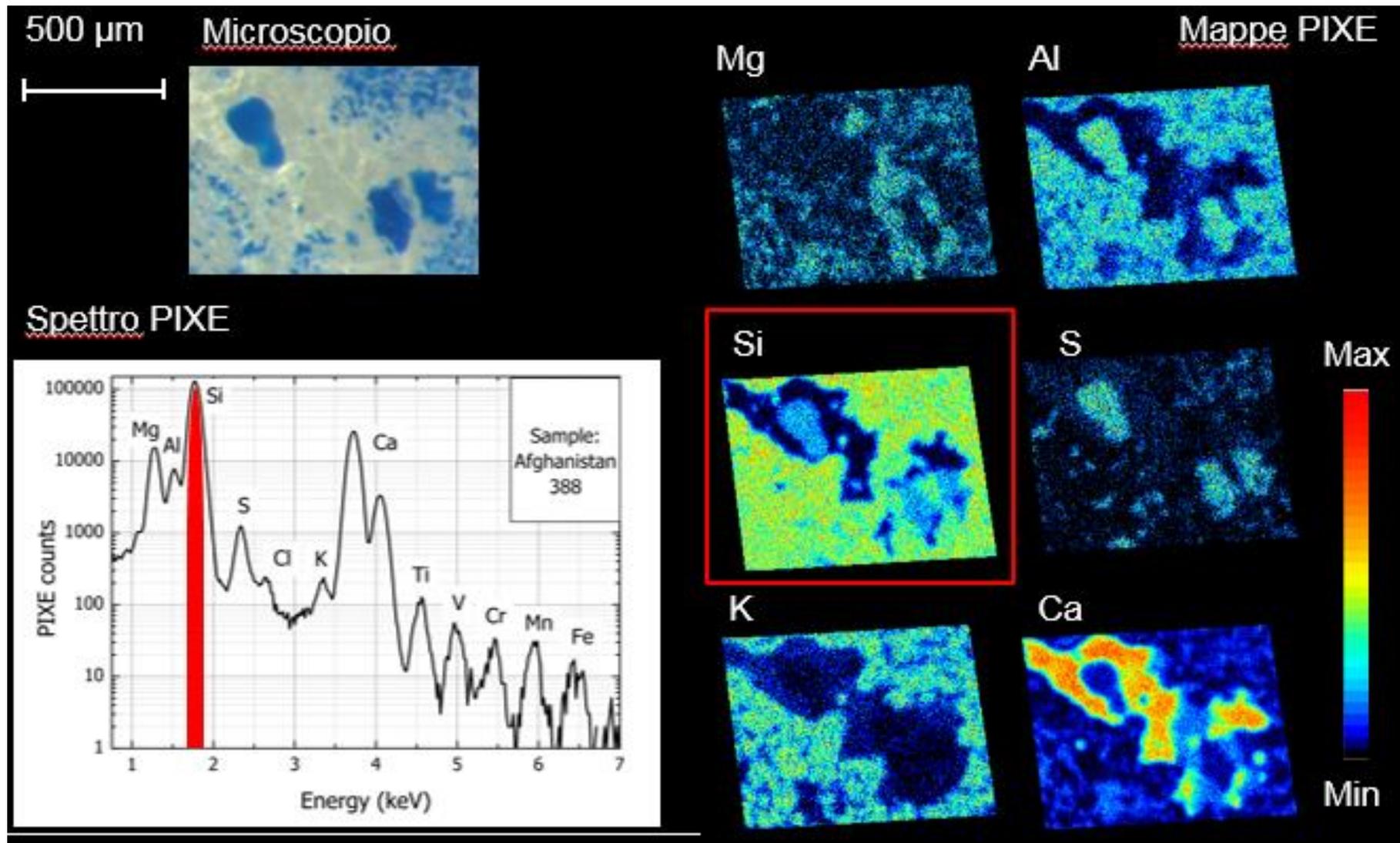
Pietra semi-preziosa nota da 7000 anni, ne esistono pochi giacimenti perché si forma in condizioni geologiche poco probabili

AN2000 a Legnaro  
Fascio di protoni a 600 keV  
Diametro fascio = 5  $\mu\text{m}$   
Intensità = 1 nA  
Anno 2009

**Contributo: Compagnia di San Paolo**



# Studio di provenienza



# Diopside

## Tracce di elementi minori nel minerale

Titanio  
Vanadio  
Cromo  
Manganese  
Stronzio  
Ferro

## ESERCIZIO

Ti ( $1954 \pm 78$ ) ppm  
V ( $595 \pm 53$ ) ppm  
Cr ( $297 \pm 36$ ) ppm  
Mn ( $381 \pm 26$ ) ppm  
Sr ( $0 \pm 0$ ) ppm  
Fe ( $92 \pm 13$ ) ppm

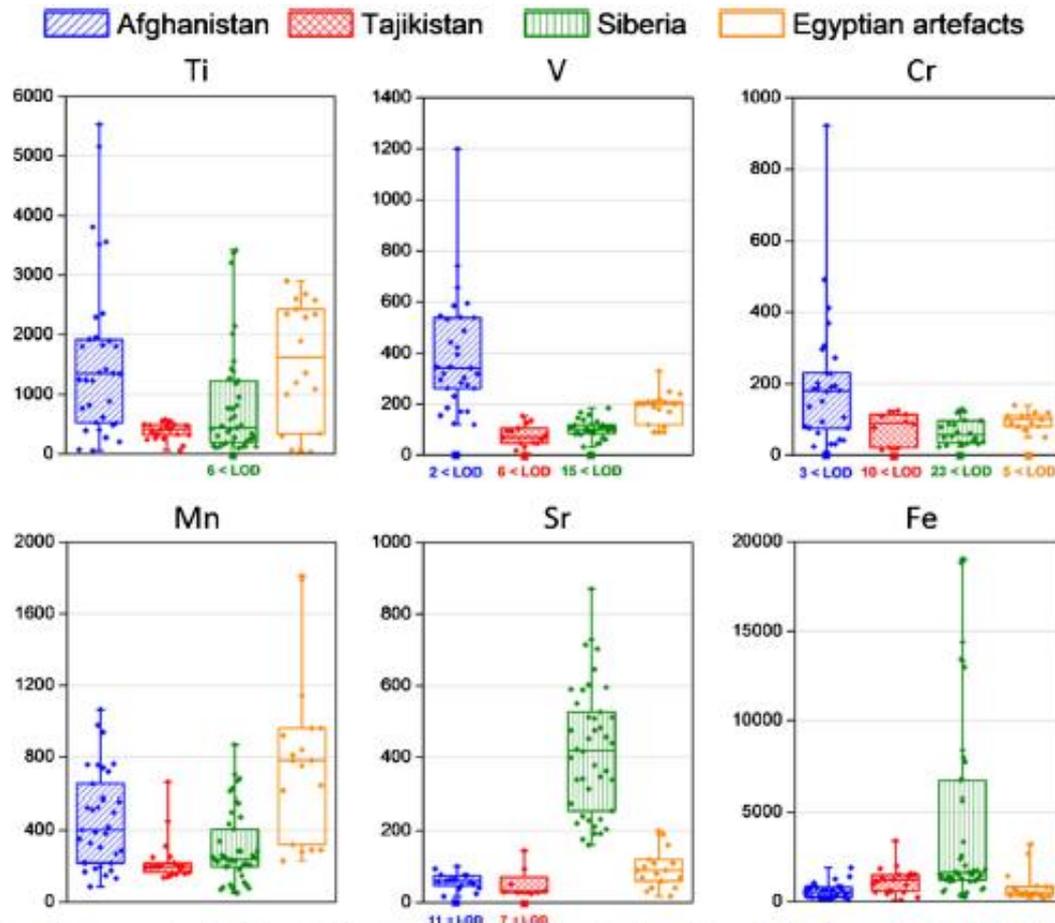
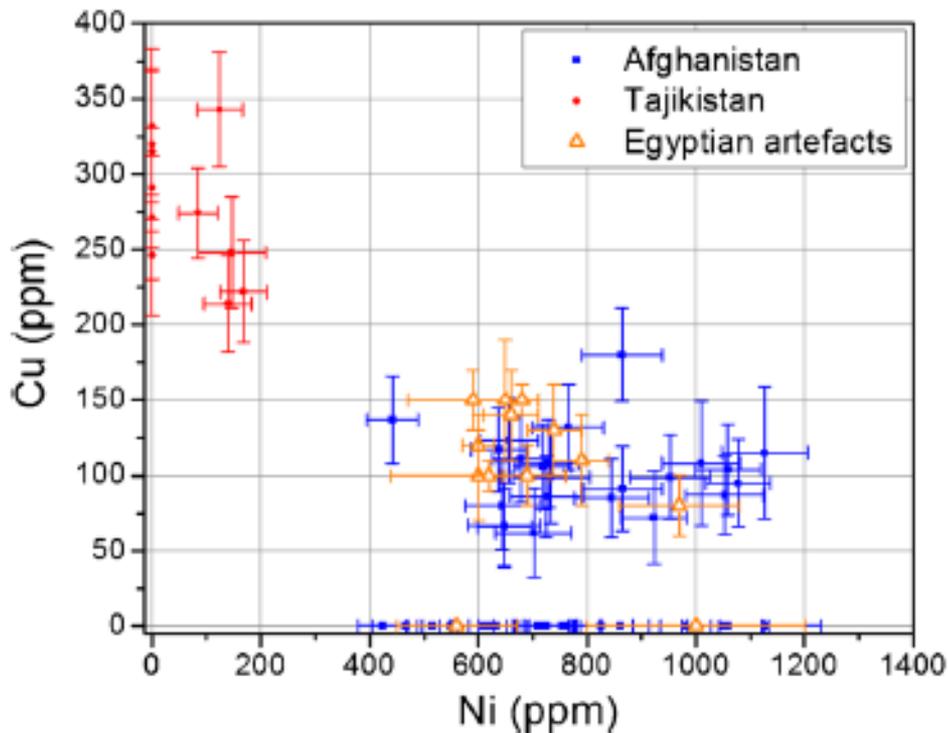


Fig. 7 Trace element contents in diopside crystals (in ppm): comparison between Egyptian artefacts and rocks from our database (Re 2015). The square symbols in correspondence to 0 value represent the numbers of measurements below the limit of detection (LOD)

2017 Lo Giudice et al - AAS 9(4)[637-651]

Diopside: minerale della famiglia del pyroxene, inosilicato con una singola catena di calcio e magnesio.



**Fig. 9** Cu versus Ni contents in pyrite crystals from  $\mu$ -PIXE measurements. The individual errors associated with each measurement are plotted, whereas the values below the limit of detection (LOD around 100 ppm for Ni and 50 ppm for Cu) are represented on the axes

2017 Lo Giudice et al - AAS 9(4)[637-651]

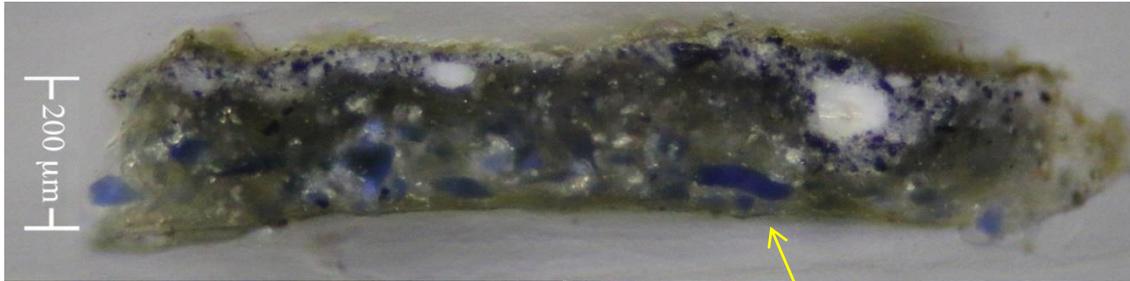
Tracce di elementi minori nel minerale

Rame  
Nichel

ESERCIZIO

Ni ( $1074 \pm 74$ ) ppm  
Cu ( $56 \pm 27$ ) ppm

# Studenti di quarta analizzano ...



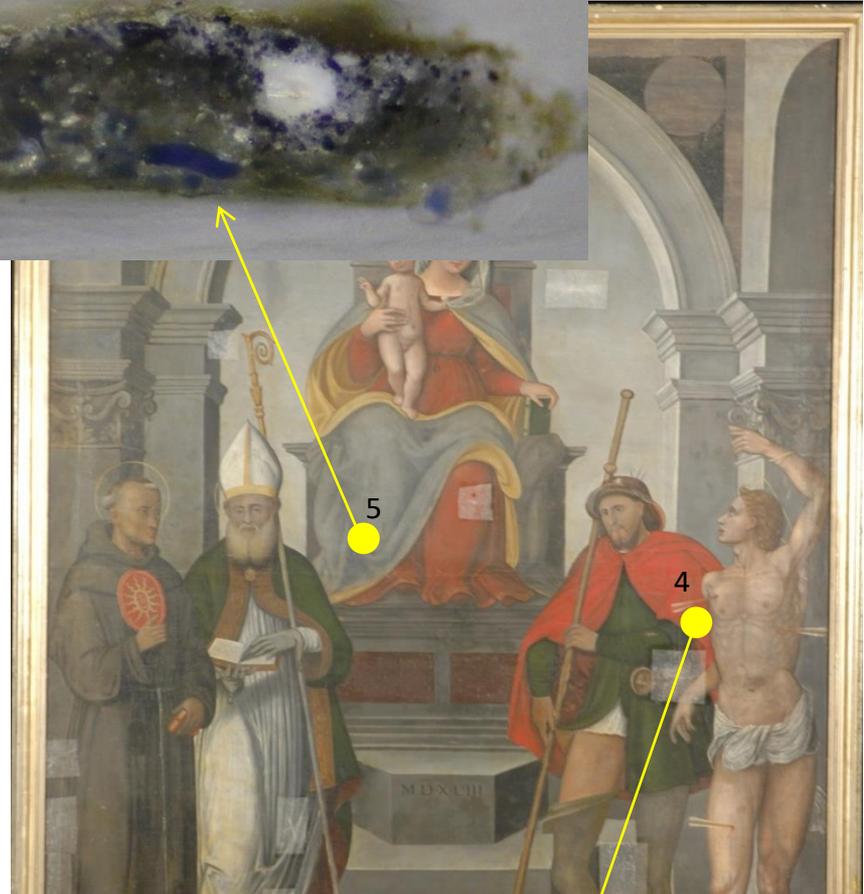
Giovanni da Mel

*Madonna e Bambino tra i  
santi Bernardino, Felice,  
Rocco e Sebastiano*

1543

olio su tavola,  
176 cm x 238 cm

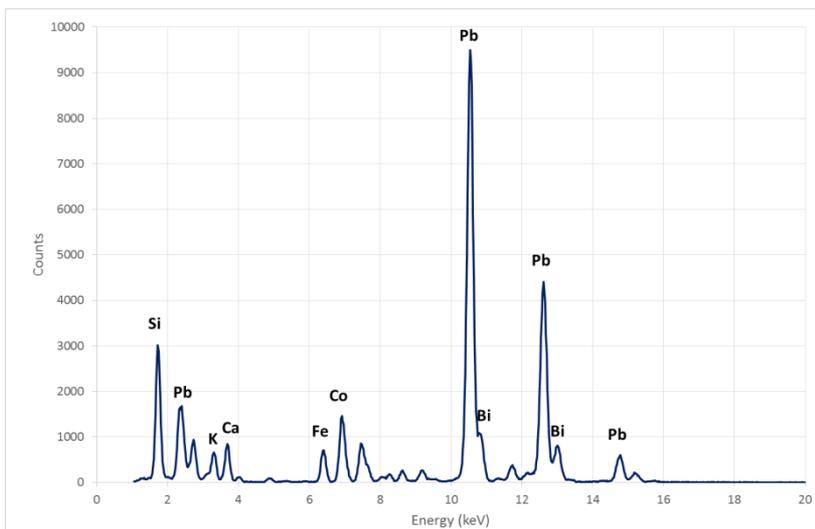
Chiesa parrocchiale di  
Trichiana (BL)



# Studenti di quarta identificano ...

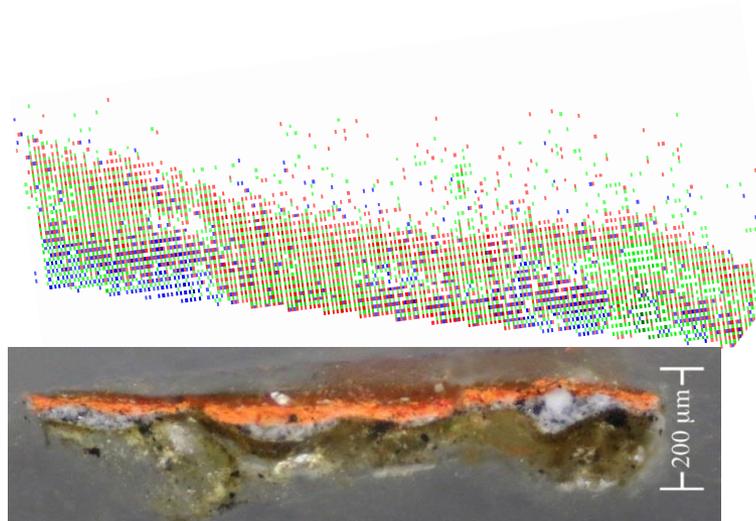
## Madonna Campione 5

- Pb (Biacca)
- Co (Smaltino)
- Si (Smaltino)



## San Rocco Campione 4

- Hg (Cinabro)
- Pb (Biacca)
- Ca (Gesso)



# Conclusioni su PIXE

La PIXE è un valido supporto per numerose scienze.

L'uso della PIXE in complementarità con altre tecniche - possibile perché la PIXE non è invasiva - di tipo nucleare quali RBS e PIGE consente molto spesso un'analisi su tutta la tavola periodica degli elementi.

## **FISICA DELL'AMBIENTE**

analisi di aerosol, sedimenti,  
materiale insoluto in acqua,  
materiale soluto in acqua

## **GEOLOGIA**

determinazione dell'età  
delle rocce, studio degli  
elementi in traccia

## **FARMACOLOGIA**

studio degli elementi in  
traccia su medicinali  
tradizionali

## **SCIENZA DEI MATERIALI**

studio delle contaminazioni  
superficiali su materiale  
trattato come semiconduttori  
drogati, acciai speciali

## **ARCHEOLOGIA**

## **ASTROFISICA**

## **FISICA MEDICA**

analisi di materiale organico  
come fibra, siero, plasma  
per lo studio di elementi in  
traccia.

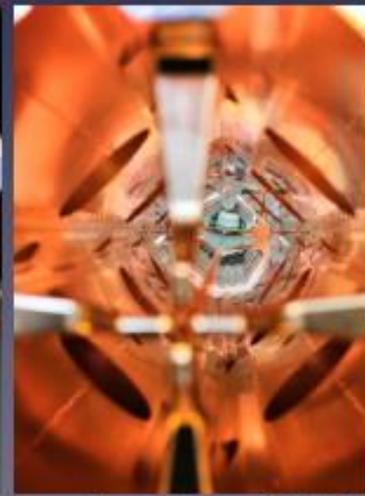
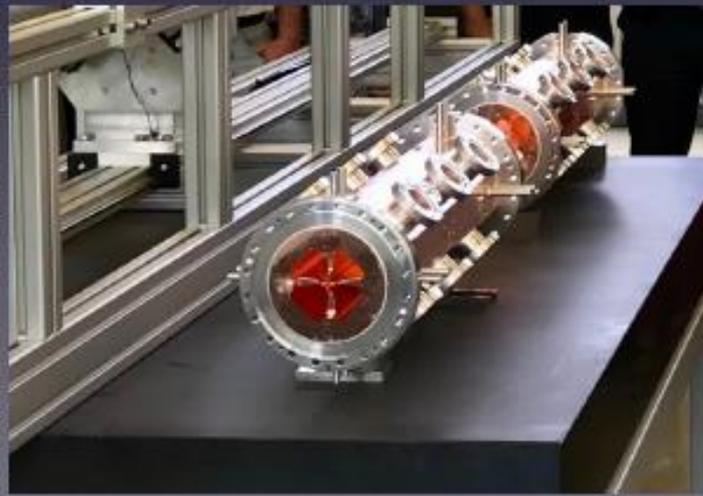
## **FISICA DEI BENI CULTURALI**

studio di opere d'arte per la  
datazione, l'attribuzione, lo  
studio delle tecniche  
pittoriche e la loro  
salvaguardia

## Movable Accelerator for Cultural Heritage In-situ Non-destructive Analysis



- Il primo acceleratore di protoni ( $E=2$  MeV) **trasportabile** → sarà installato presso l'Opificio delle Pietre Dure di Firenze



# Sommario

- Beni culturali e fisica nucleare
- Fisica dei beni culturali con acceleratori
- **Fisica dei beni culturali senza acceleratori**
- La rete CH-net dell'INFN

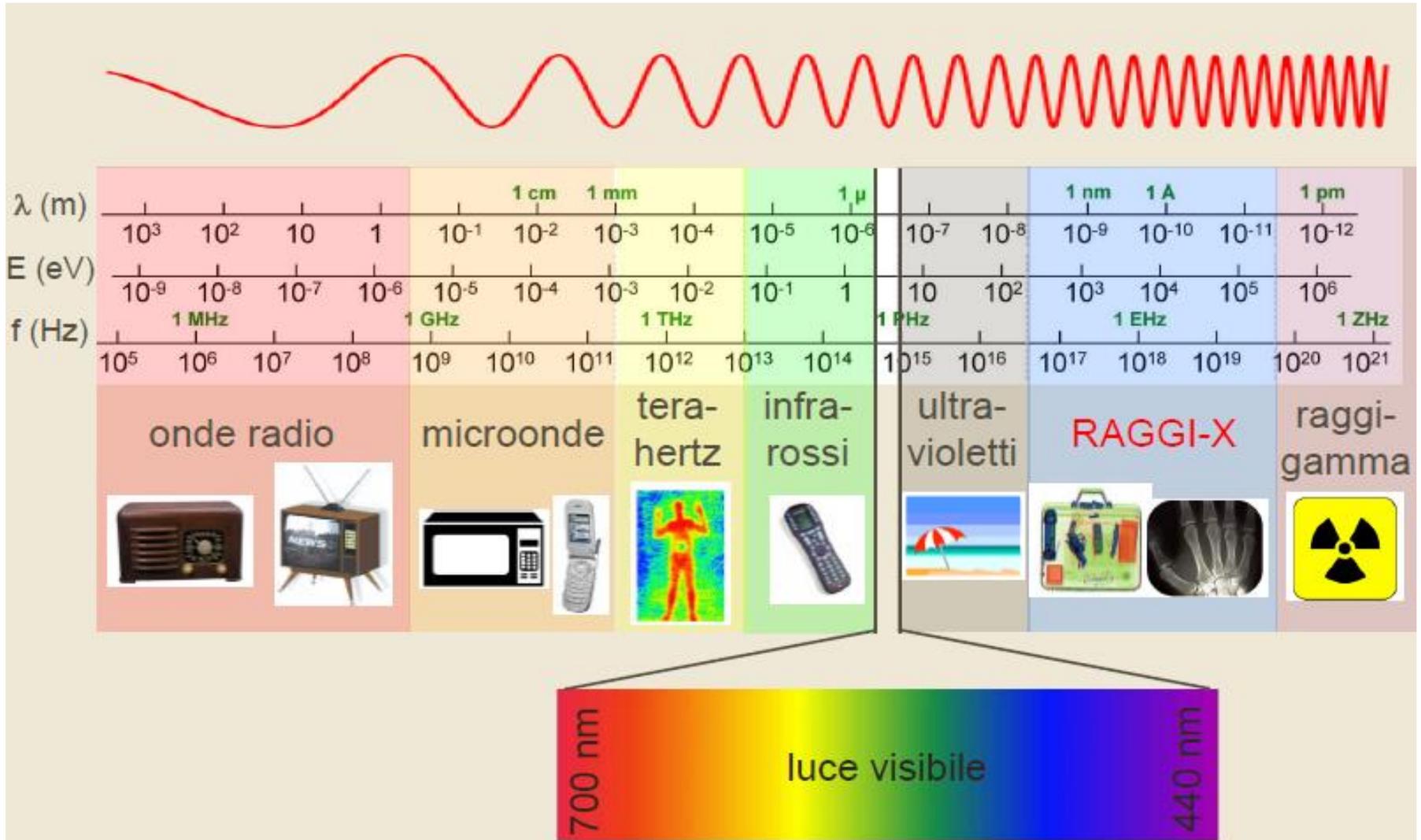
# Le tecniche per immagini

**NON invasive** → non si modifica l'oggetto in esame  
(nessun campione prelevato)

**NON distruttive** → il campione (o l'area) analizzato si  
conserva identico

Il risultato ottenuto senza acceleratori è un'**immagine**.

# Lo spettro elettromagnetico



# La struttura di un dipinto

## Vernice

strato di sacrificio che protegge il dipinto e rende più brillanti i colori

## Strato pittorico

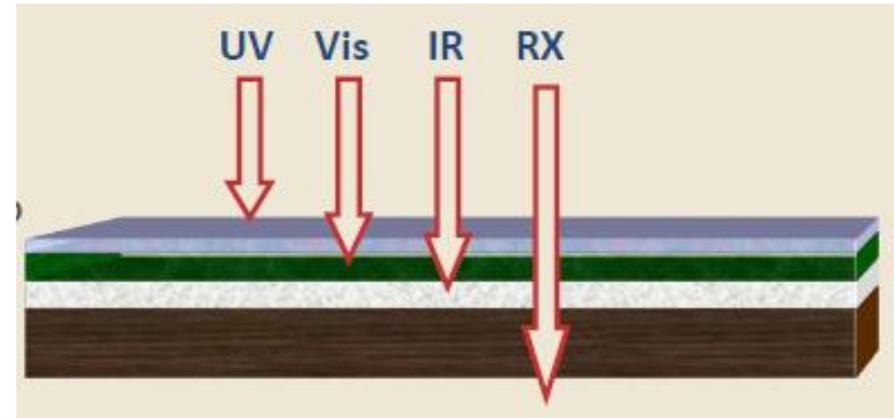
Pigmento = colore e potere coprente

Legante = mantiene il pigmento ancorato allo strato preparatorio

## Disegno

**Strato preparatorio:** gesso e colla

**Supporto:** legno o tela



# Luce radente



Evidenzia le asperità della superficie

Filippo De Pisis

*Il gladiolo fulminato*

1930, olio su cartone incollato su legno

71 ,5 x 51 cm

Ferrara,

Museo De Pisis

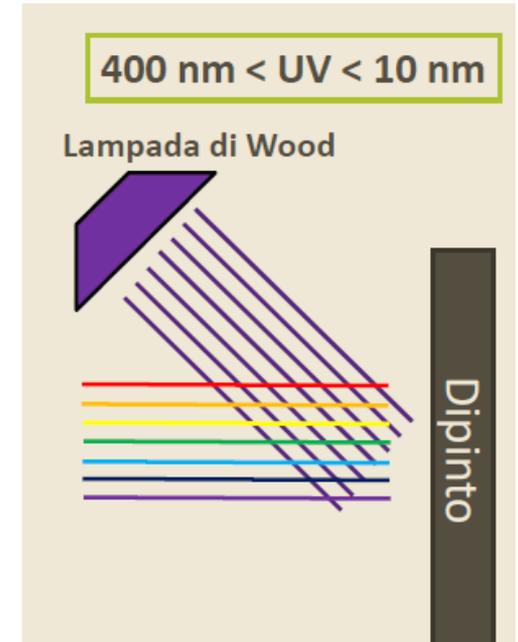
# Fluorescenza ultravioletta

## Fluorescenza:

Proprietà per cui irraggiando un materiale con radiazione di una data energia, questi emette una radiazione di energia minore ( $\lambda$  maggiore).

La fluorescenza ultravioletta è tipica per i materiali organici (ad esempio, le vernici) ed è maggiore per materiali più antichi.

La **lampada di Wood** emette radiazioni ultraviolette grazie a vapori mercurio e presenta un vetro scuro blu o viola (ossido di nichel), che blocca la luce visibile.



# Fluorescenza ultravioletta



# Fluorescenza ultravioletta



Visibile la fluorescenza del giallo di cadmio

# Riflettografia infrarossa

## Propagazione della luce\*:

In un mezzo trasparente e omogeneo, che contiene particelle disperse, poco assorbenti e di dimensioni confrontabili con  $\lambda$  incidente, l'attenuazione del fascio è dovuta per lo più alla diffusione (scattering).

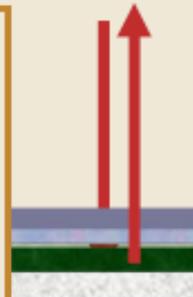
750 nm < NIR < 3  $\mu$ m

Mezzo = legante  
Particelle = pigmenti

$$S = 1/\lambda$$

Aumentando  $\lambda$ , la propagazione in avanti è favorita

Disegno preparatorio:  
**Contrasto** tra materiale assorbente (carbonioso) e materiale riflettente (preparazione chiara).



N.B. Il risultato riflettografico dipende dalla trasparenza degli strati pittorici (spessore, pigmenti) e dal tipo di rivelatore (range spettrale)

# Riflettografia infrarossa



# Riflettografia infrarossa



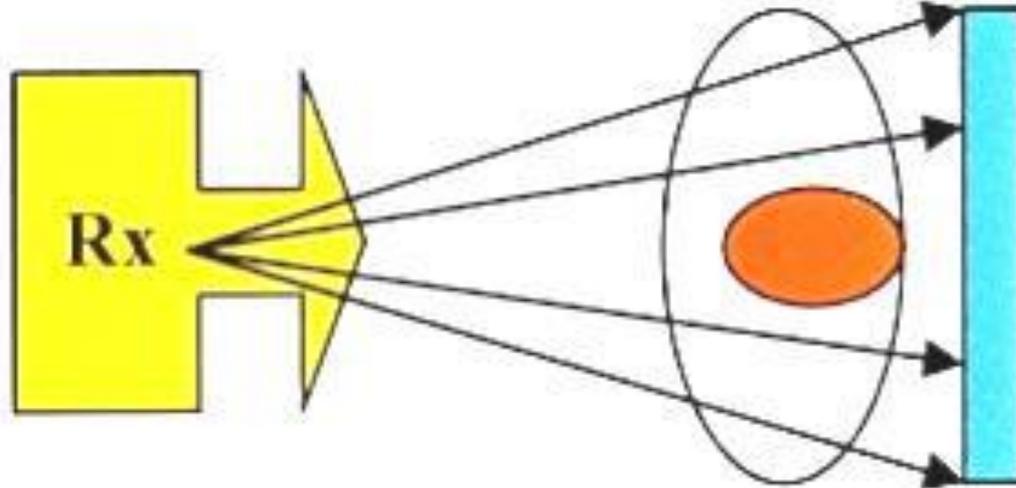
Visibile il pentimento

# Studenti analizzano ...



Edoardo **Pazzini**, *Lungo la strada per Padulli*, 1943,  
olio su cartone, 32 cm x 21 cm, collezione privata

# Radiografia X



Tubo a raggi X – oggetto da analizzare – lastra fotografica

I fotoni X sono emessi per radiazione di frenamento (bremsstrahlung) dagli elettroni bruscamente decelerati dall'anodo

Minor numero di raggi X → zone chiare

Maggior numero di raggi X → zone scure

Legge di Lambert-Beer per attenuazione dei raggi X nella materia

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$



L'immagine radiografica tiene conto delle caratteristiche del dipinto:  
spessore, numero atomico, densità.

# X Ray Fluorescence XRF

Si analizzano i raggi X emessi dalla fluorescenza.

L'emissione è indotta da un fascio di radiazione elettromagnetica (raggi X primari ottenuti da tubo a raggi X, lungo ordine di cm).

XRF è meno quantitativa, meno sensibile per gli elementi leggeri rispetto a tecniche IBA.

**XRF è trasportabile!**

Ai LNL e al LABEC sono disponibili apparati portatili.

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

# Apparato XRF del LABEC

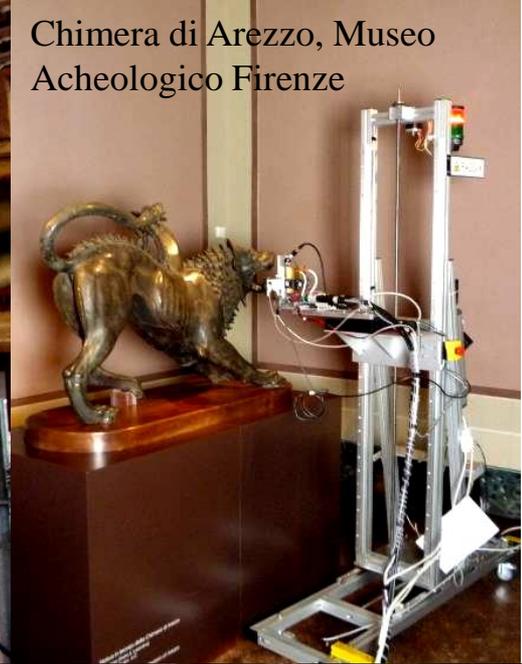




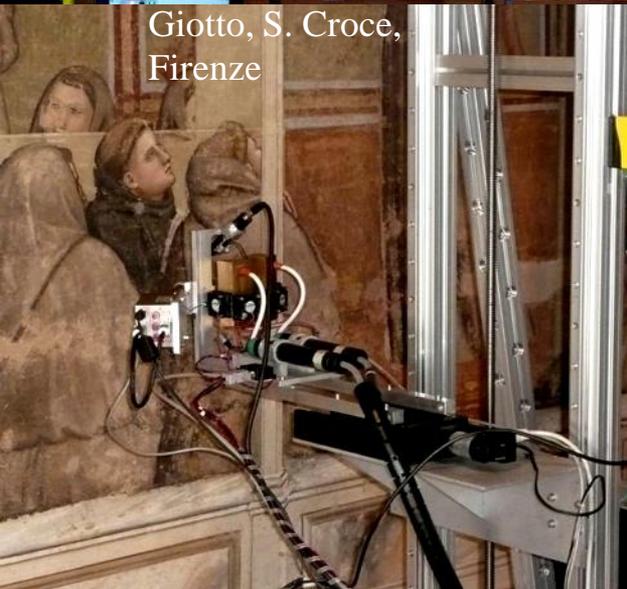
Piero della Francesca,  
Sansepolcro



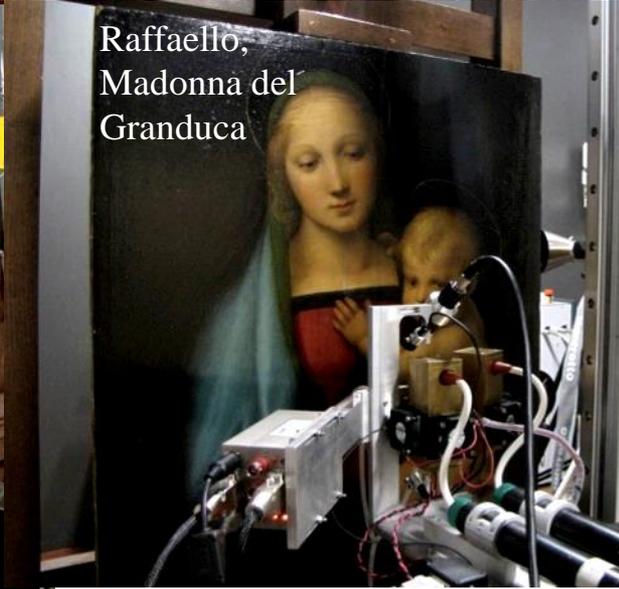
Maestro di Figline,  
S. Croce,  
Firenze



Chimera di Arezzo, Museo  
Acheologico Firenze



Giotto, S. Croce,  
Firenze

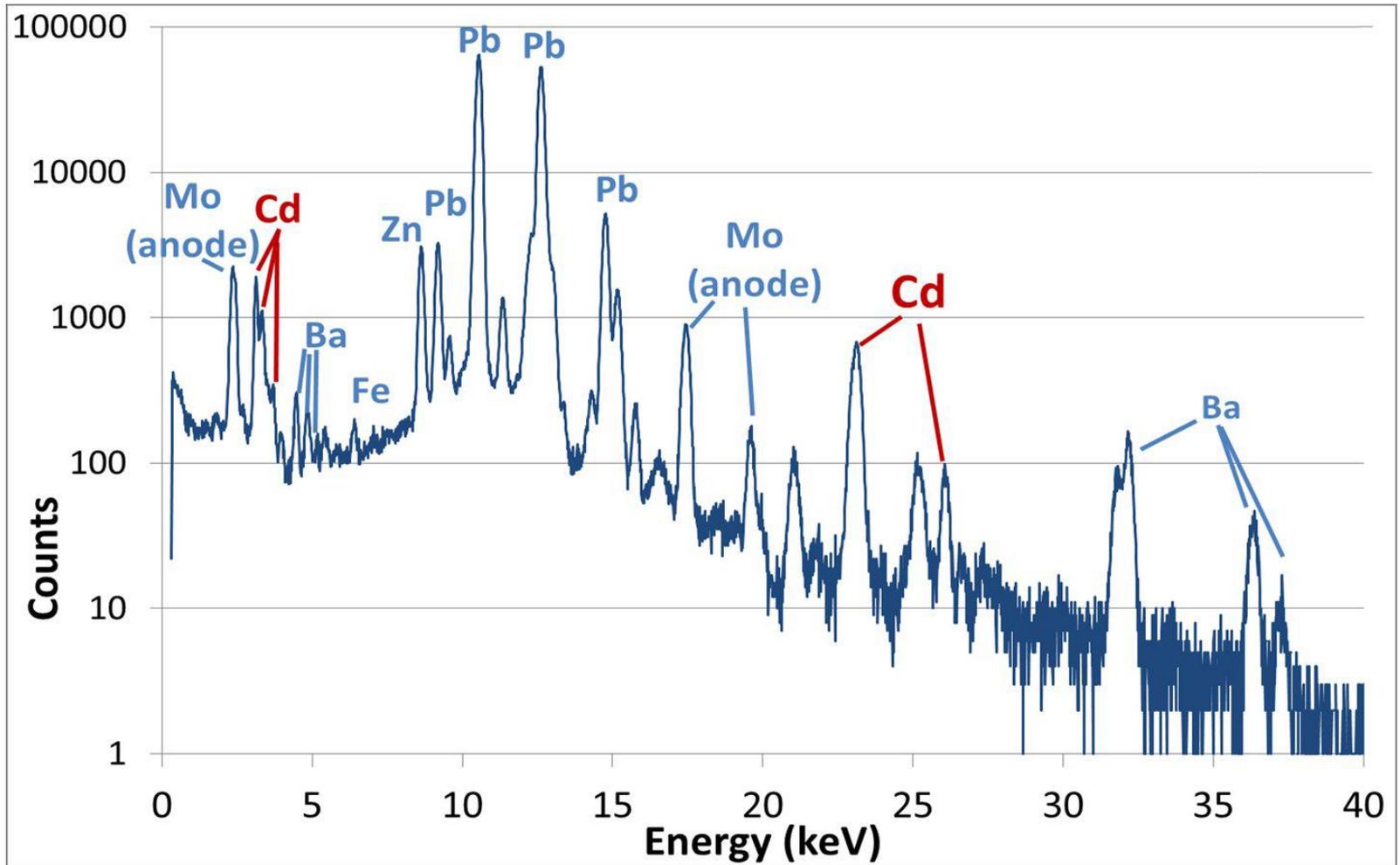


Raffaello,  
Madonna del  
Granduca



Beato Angelico, S. Marco,  
Firenze

# Spettro in fluorescenza X



Visibile il picco caratteristico del giallo di cadmio

# XRF per pigmenti antichi

Esempi:

Pigmento:

**Cinabro**



**Biacca**



**Giallorino**



Formula:

$\text{HgS}$

$(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$

$\text{Pb}_2\text{SnO}_4$

Periodo:

Antica Grecia ad oggi

Antichità al XIX secolo

Tardo Medioevo a oggi

**Costruzione della tavolozza dei colori del pittore per un restauro**

# Una recente applicazione di XRF

Stato al maggio 2017



**Carlo Bononi**, *Incoronazione della Vergine*, 1617, olio su tela, Ø2.8 m, Ferrara, Santa Maria in Vado

# Spettroscopia Raman

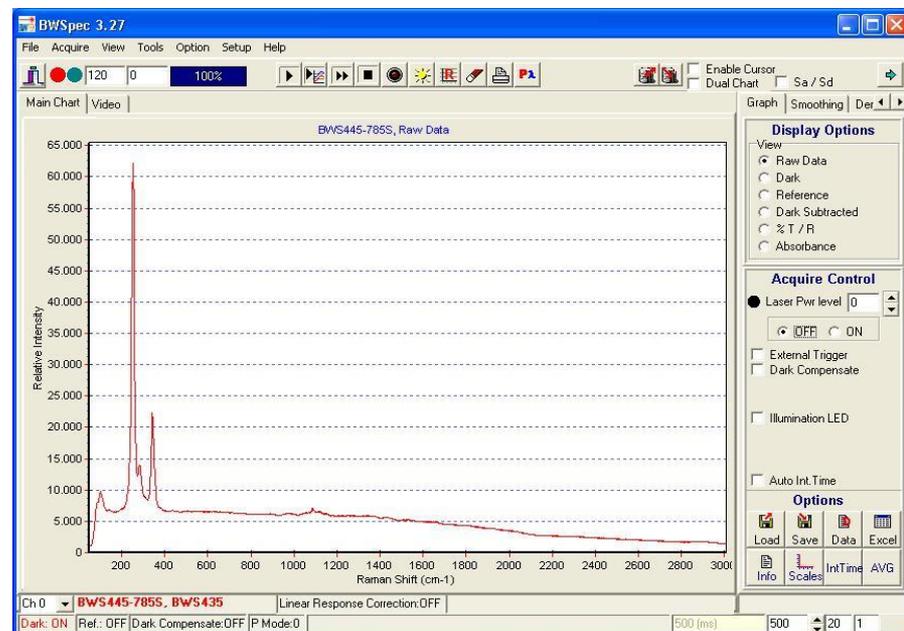
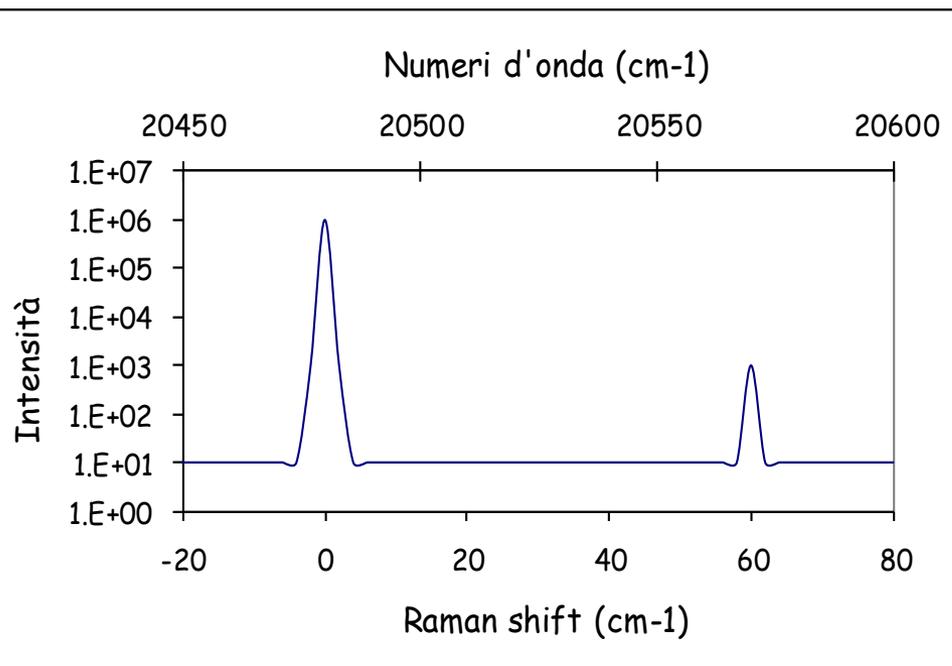
La spettroscopia Raman è una tecnica di analisi molecolare scoperta nel 1928 dal fisico indiano Raman. Egli scoprì che la differenza tra radiazione diffusa e radiazione incidente è legata alla struttura chimica delle molecole responsabili della diffusione.

La radiazione elettromagnetica interagendo con gli elettroni delle molecole induce su di esse un dipolo elettrico oscillante responsabile del processo di diffusione della radiazione incidente. Analizzando la radiazione diffusa, si possono distinguere componenti con diverse energie. Le componenti Stokes che hanno energie minori e le componenti anti-Stokes che hanno energie maggiori, rispetto alla radiazione incidente provengono da processi di diffusione anelastici.

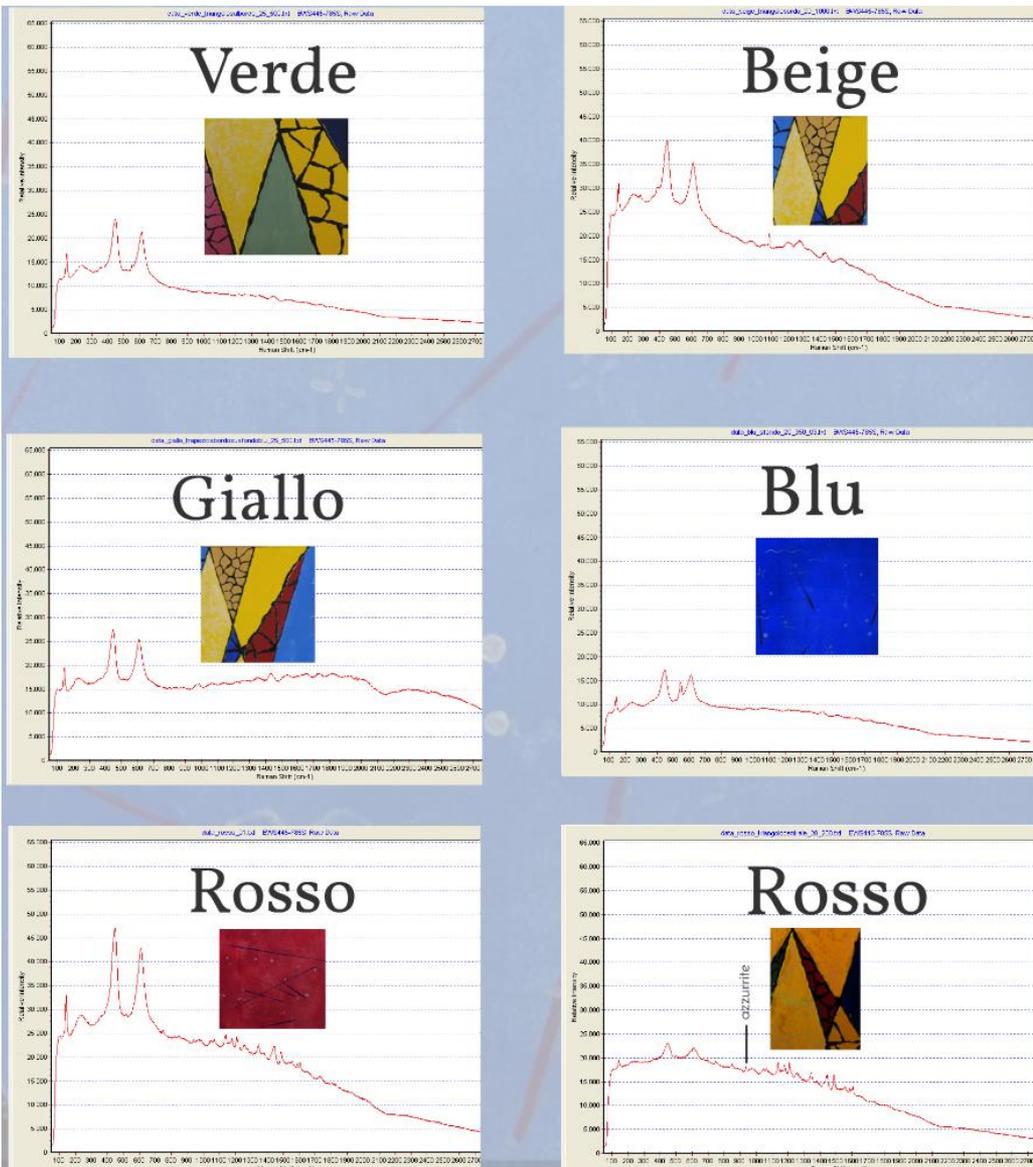
La spettroscopia Raman studia la composizione dei colori, in preparazione di eventuali restauri a seguito di uno scadimento della qualità.

# Spettro Raman

Nello spettro Raman si ha in ordinata l'intensità di emissione luminosa e in ascissa lo spostamento Raman o Raman shift, cioè la differenza in numeri d'onda tra la radiazione osservata e la radiazione incidente.



# Spettri Raman



Maria Tufano  
 VETRATA  
 1996  
 Vinilico su tela preparata  
 50 cm X 70 cm

# Pregi e difetti della tecnica Raman

## PRO:

- E' molto sensibile per l'analisi e l'identificazione dei composti, infatti ciascuna specie presenta un proprio caratteristico spettro Raman
- I tempi di misura sono estremamente brevi, la misura infatti richiede al massimo alcuni minuti
- La tecnica è non-distruttiva e può essere condotta anche in situ

## CONTRO:

- Non tutti i composti forniscono uno spettro Raman, ad esempio i metalli
- Alcuni composti possono subire danneggiamento in seguito all'irraggiamento laser: diventa necessario controllare attentamente la potenza sul campione

# Spettroscopia Raman



Olio su tavola



Olio su tela



Arazzo

Studi condotti da personale dei Laboratori Nazionali di Legnaro

# Sommario

- Beni culturali e fisica nucleare
- Fisica dei beni culturali con acceleratori
- Fisica dei beni culturali senza acceleratori
- **La rete CH-net dell'INFN**

CH-net



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sito web

<http://chnet.infn.it/it/home-2/>

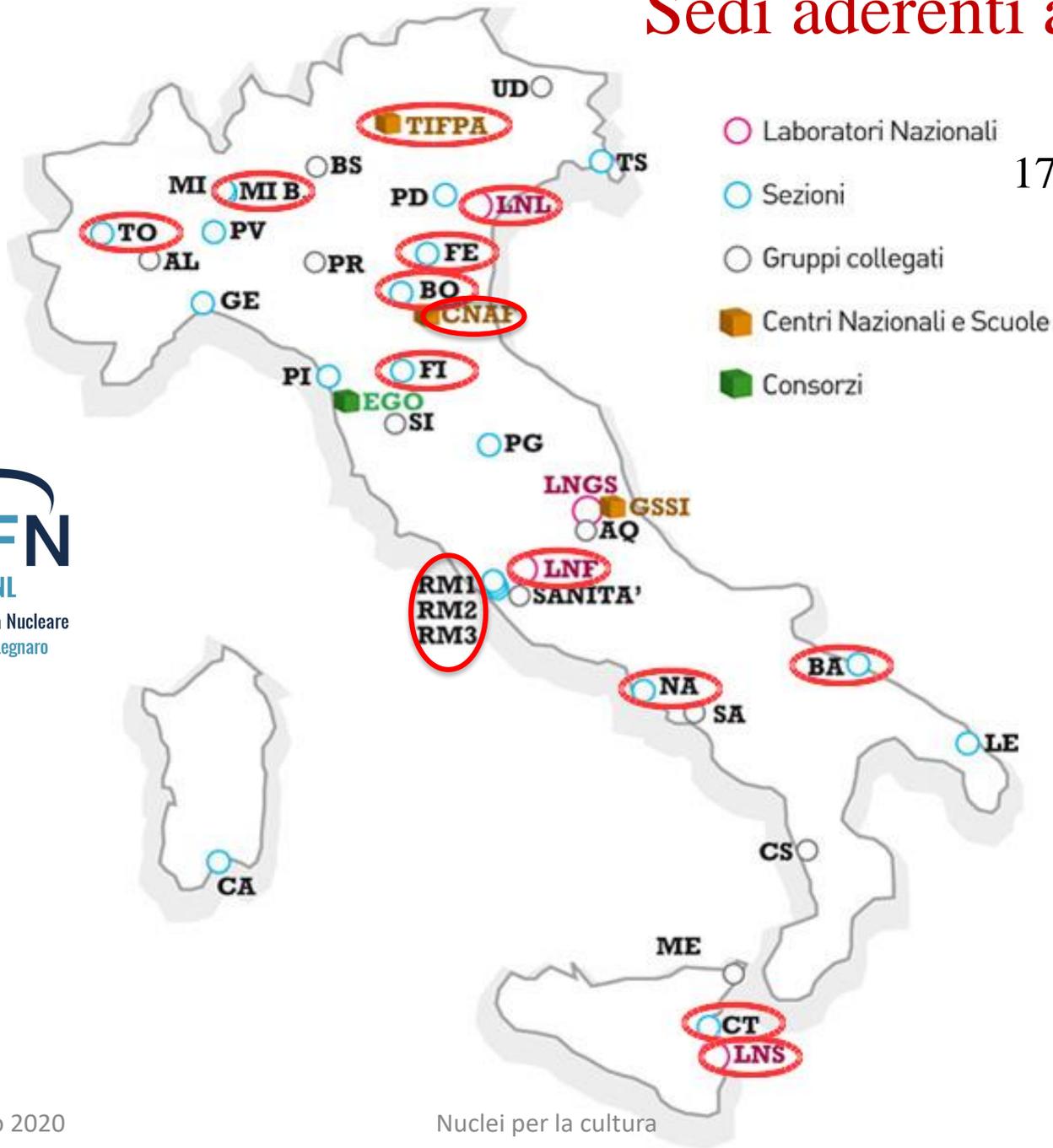
Le attività della rete CH-net afferiscono commissione  
**Trasferimento Tecnologico (TT)** dell'ente.



# Sedi aderenti a CH-net



17 strutture attive  
in CH-net



# Tecniche di fisica nucleare

## Analisi in situ

Radiografie e tomografie X (TC)

Fluorescenza X (XRF)

Spettroscopia Raman

Diffrazione a raggi X (XRD)

Particle Induction X ray Emission con particelle  $\alpha$  (PIXE- $\alpha$ )

Termografia

## Analisi in laboratorio

Analisi con fasci di ioni (PIXE, PIGE, BS, IBIL, DPAA)

Radiografie e tomografie X (TC)

Fluorescenza X (XRF)

Microsonda a elettroni (SEM)

Fluorescenza indotta da laser (LIF)

Catodoluminescenza

Radiografia K-edge

Spettrometria SIMS

Spettrometria di massa (HR-ICP-MS)

Spettrometria di massa a ionizzazione termica (TIMS)

## Datazioni

Radiocarbonio con spettrometria di massa con acceleratore (AMS)

Termoluminescenza e luminescenza otticamente stimolata

# Applicazione tecniche di fisica nucleare

## *diagnostica*

- conoscenza approfondita di opere d'arte e di reperti archeologici (datazione, materiali e tecniche peculiari di un artista, indagini sulla composizione dei materiali, tecniche di imaging, analisi del deterioramento)
- conoscenza 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

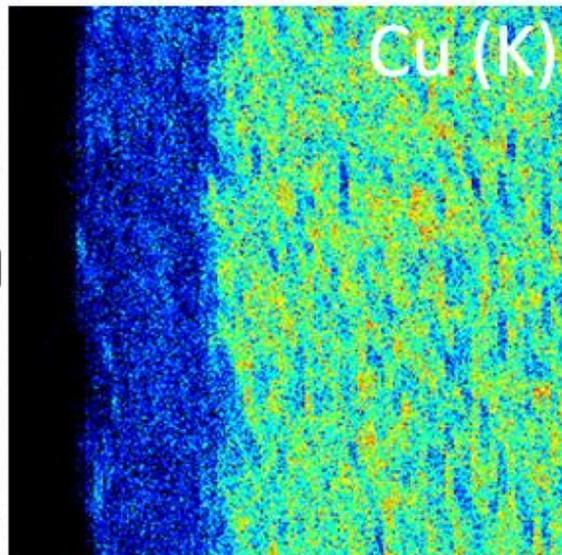
# Conclusioni

- Tutte le tecniche di analisi scientifiche, combinate tra loro forniscono un risultato esaustivo sul bene culturale in esame.
- Le tecniche e gli strumenti di fisica nucleare hanno notevoli applicazioni nel campo dei beni culturali.
- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare è impegnato nella fisica nucleare applicata ai beni culturali in una rete con 17 strutture (CH-net).
- In particolare, i Laboratori Nazionali di Legnaro ospitano un acceleratore Van der Graaff da 2 MeV, una delle cui linee di fascio è dedicata alla PIXE, e hanno in dotazione strumenti per analisi in situ con tecnica Raman e XRF.

Grazie per l'attenzione !!!

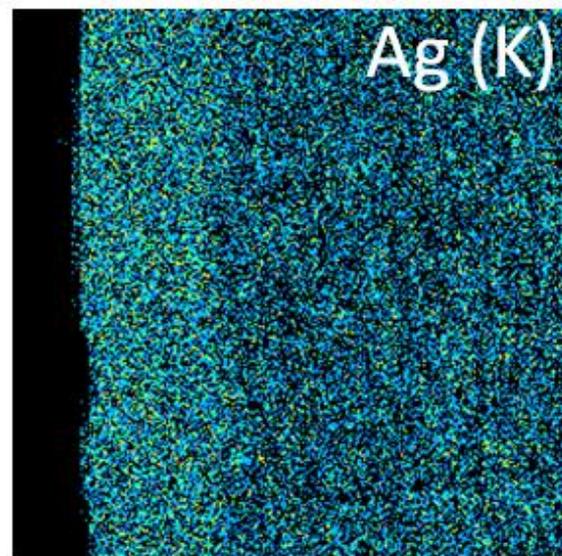
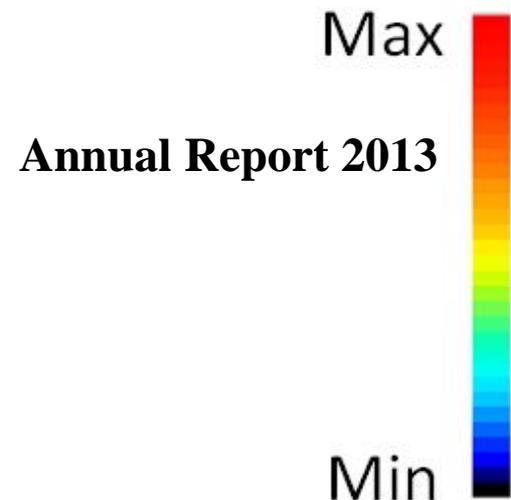
# Altri contenuti

# Analisi di antiche monete romane



Monete risalenti al II secolo AC  
 Supporto con studi di metallurgia

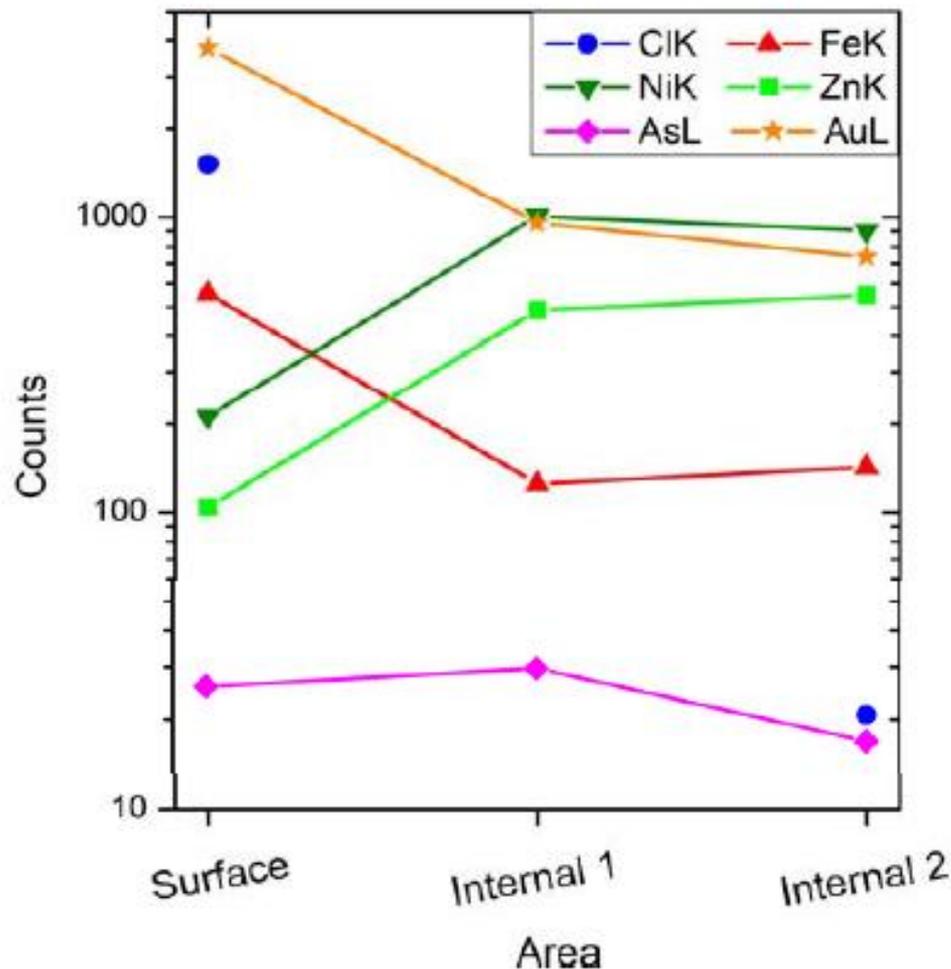
AN2000 a Legnaro  
 Fascio di protoni a 2 MeV  
 Diametro fascio = 5  $\mu\text{m}$   
 Intensità = 500 pA  
 Anno 2012



Mappe di una moneta romana:  
 vista al microscopio  
 distribuzione di rame Cu (PIXE)  
 distribuzione di argento Ag (PIXE)

Ogni moneta ha una storia, non è un  
 materiale preparato in laboratorio con  
 tecniche moderne (i risultati possono  
 variare molto in oggetti simili)

# Analisi di antiche monete romane



## Distribuzione degli elementi minori

Cloro e Ferro presenti in superficie  
 → seppellimento in terra o acqua

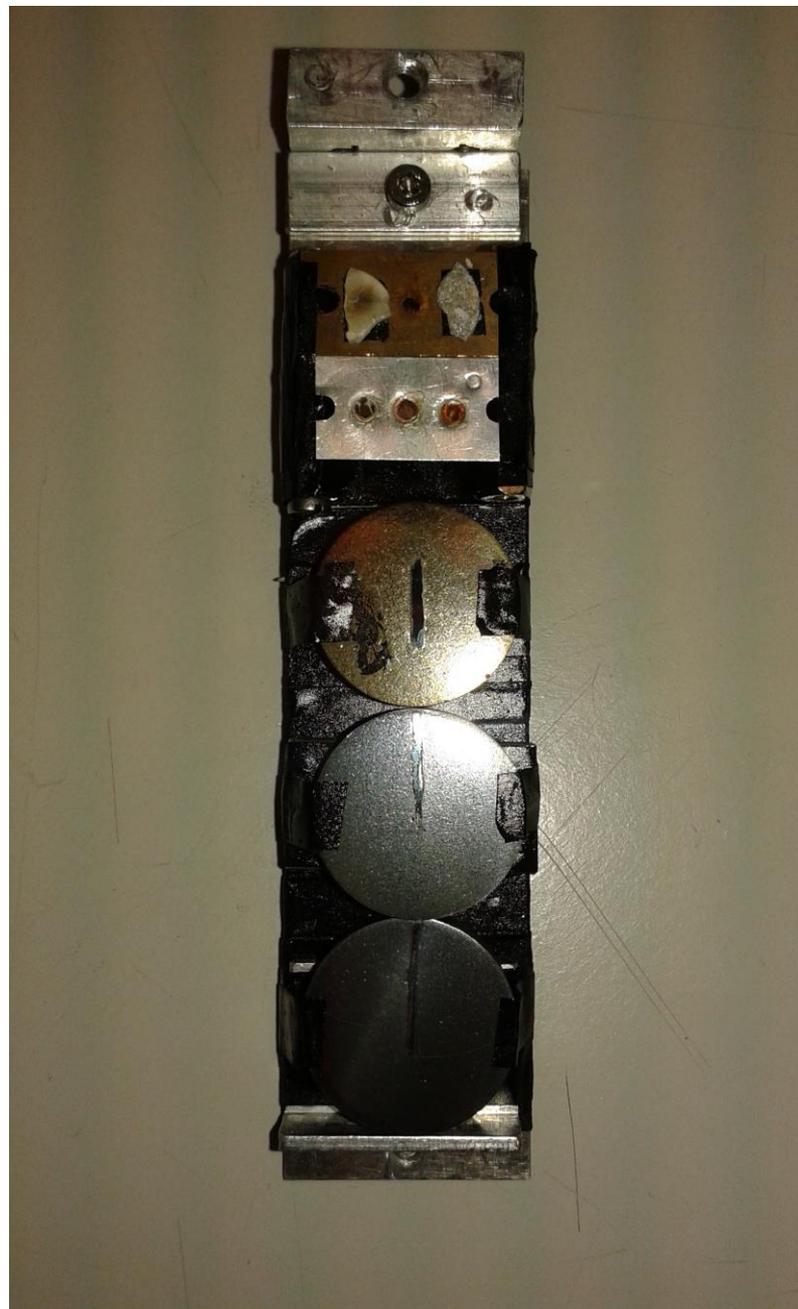
Oro presente in superficie  
 → collegamento con strato d'argento

Zinco e Nichel presenti nell'interno  
 → relazione con il rame

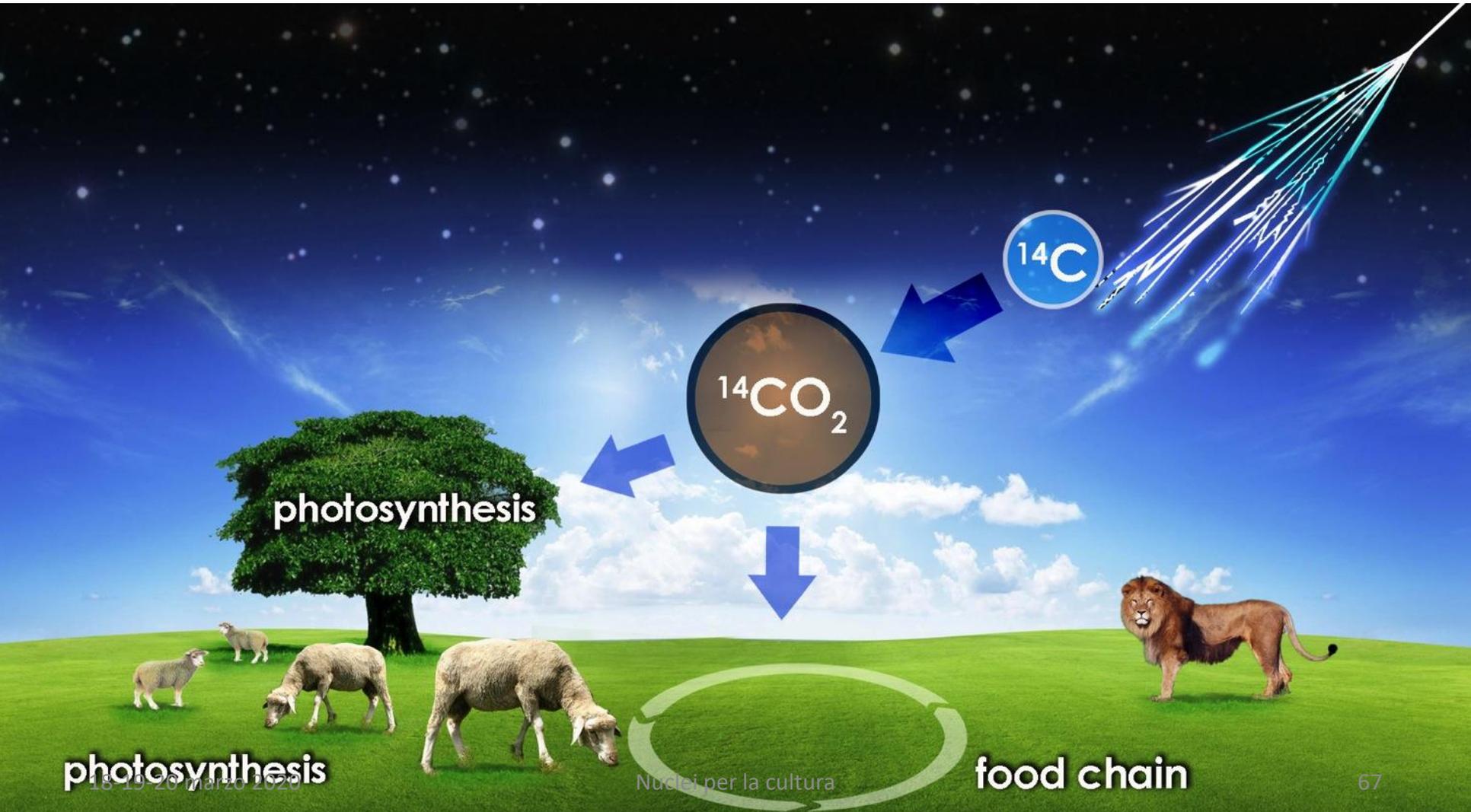
**Annual Report 2013**

Lo strato di argento in superficie è spesso intorno a (100-150)  $\mu\text{m}$ , a dimostrazione delle fini lavorazioni di quell'epoca.

# Monete pronte per misura



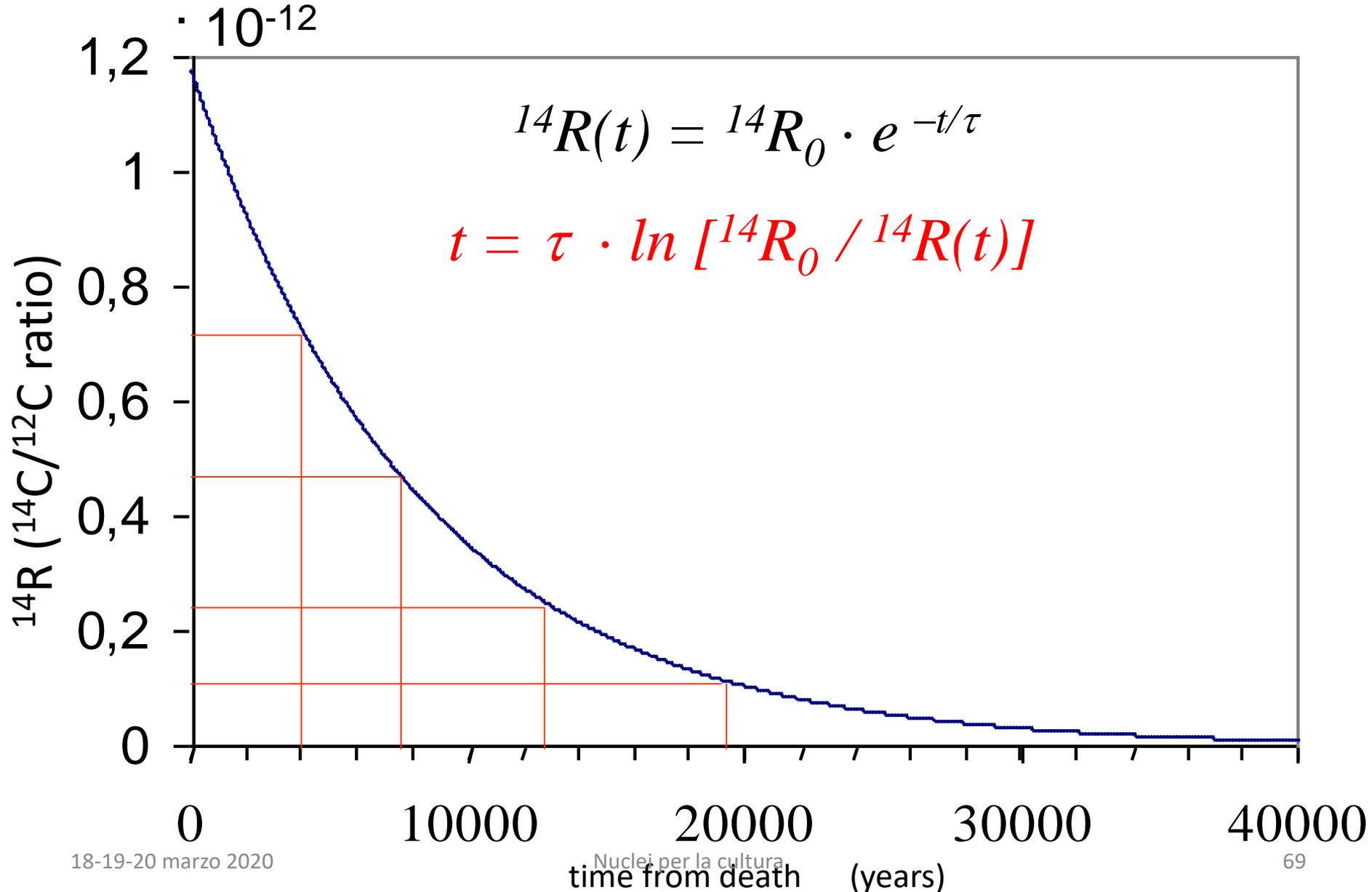
# Principio delle datazioni col $^{14}\text{C}$



# 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.

# In linguaggio matematico ...



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

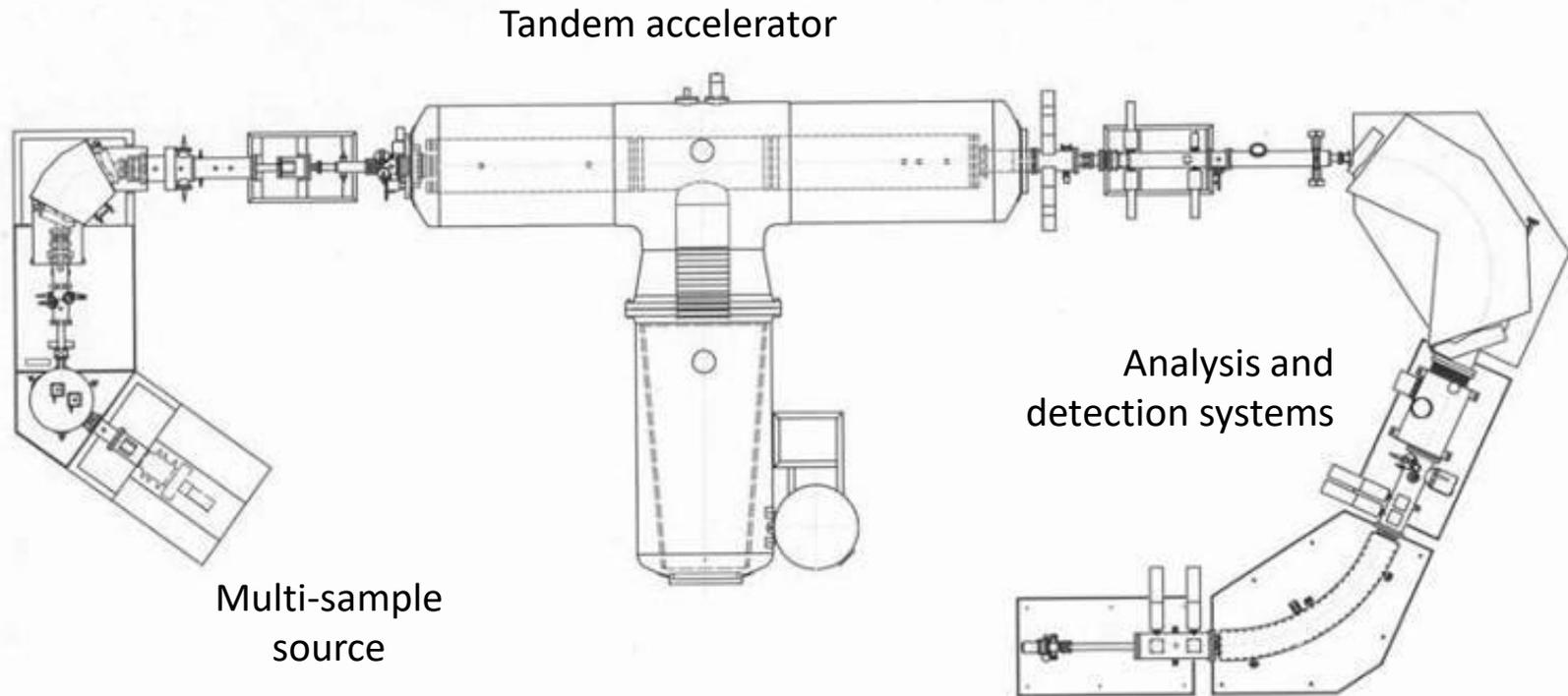
**Accelerator Mass Spectrometry**  
**(AMS)**

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



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

sistemi di rivelazione ad alta energia  
(rimuove le interferenze residue)

# La sfida dell' AMS è ...

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 esempio: 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)

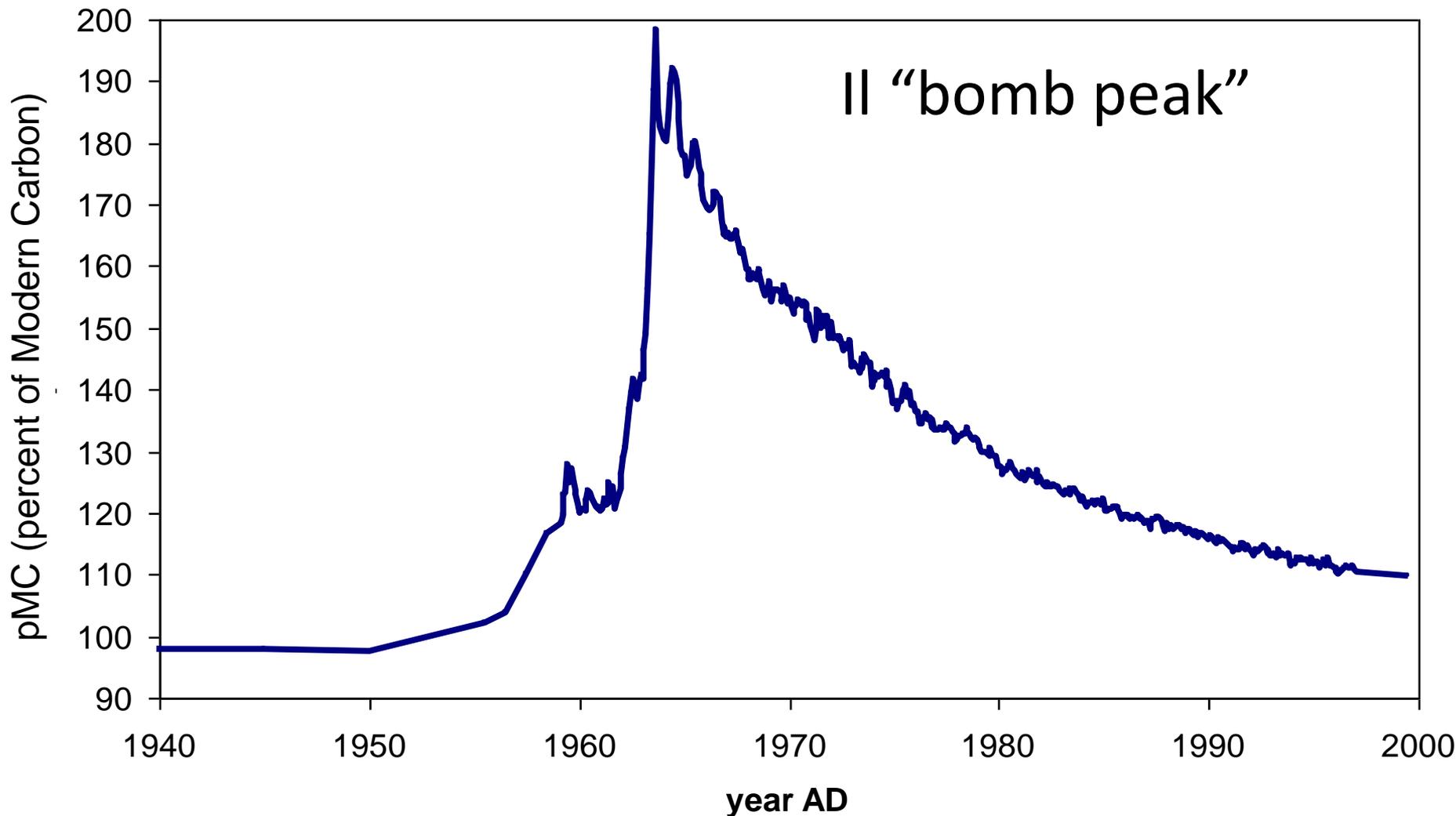




Le applicazioni tradizionali delle datazioni col  $^{14}\text{C}$  sono in archeologia o per reperti storici.

Recentemente tuttavia INFN LABEC ha 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

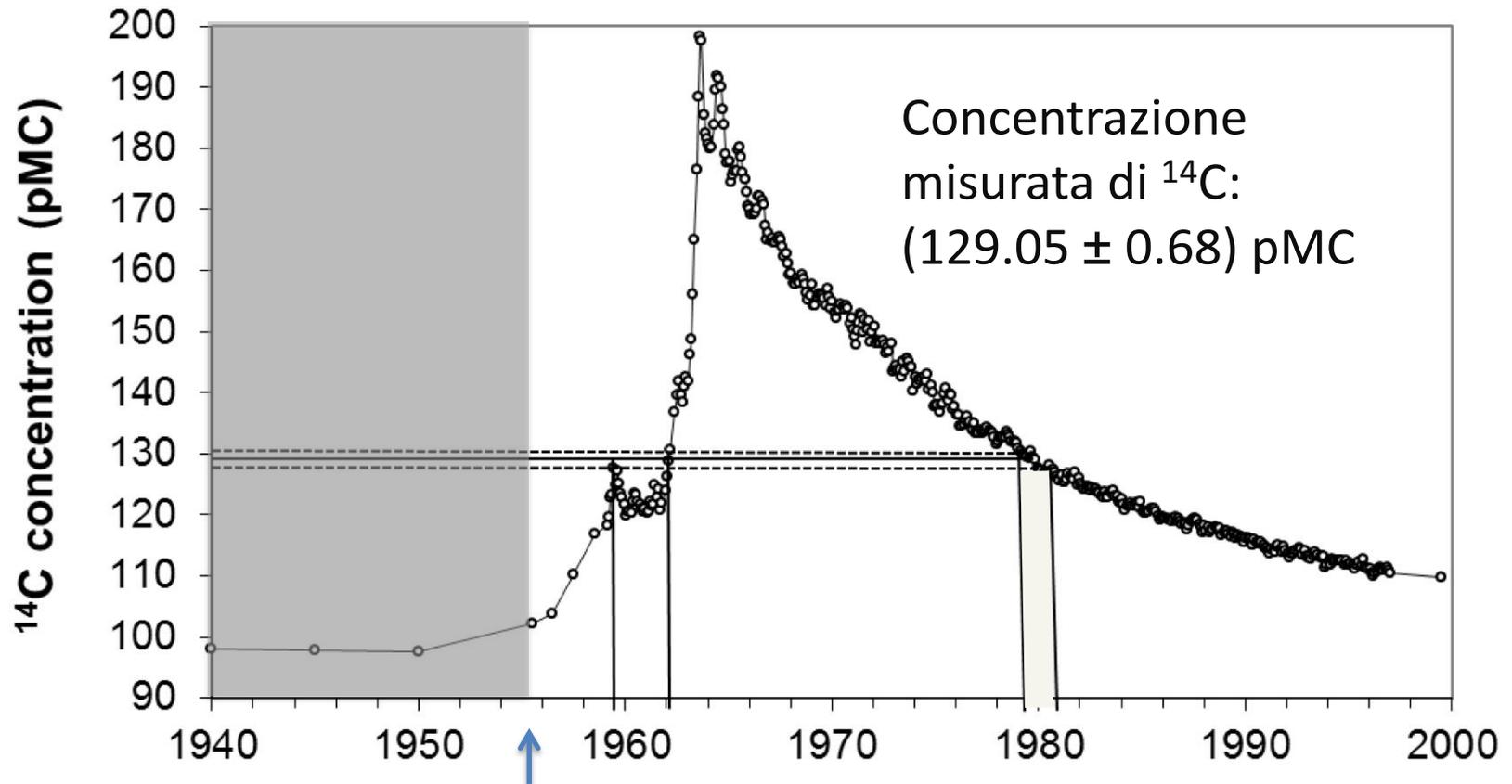
presunto dipinto del 1913-14

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**