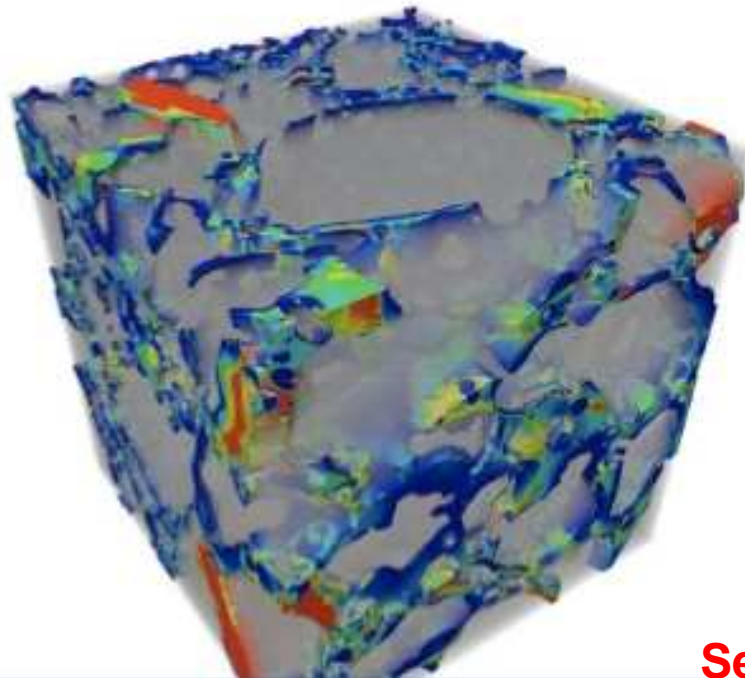


Università degli Studi di Pavia



# **TOMOX INSTRUMENT: X-RAY TOMOGRAPHY TECHNIQUE APPLIED TO IN SITU ROCK COMPOSITION AND AGE DETERMINATION**

**Selezionato in base al bando ASI DC-EOS-2014**



**XIII Congresso Nazionale  
di Scienze Planetarie  
Bormio, 21-26 Febbraio 2016**



# Obiettivi

- L'obiettivo primario di questo progetto è quello di costruire un prototipo di tomografo a raggi-X per la **mappatura 3D della composizione mineralogica (tramite XRD) e chimica (tramite XRF)** di un campione di roccia.
- Dalle composizioni acquisite in modalità XRF, sarà possibile estrarre informazioni relative alla storia evolutiva della roccia: in particolare si cercherà di ottenere **una stima dell'età della roccia attraverso il sistema Rb/Sr**.
- Valutazione delle potenziali ricadute in **applicazioni terrestri** della strumentazione, soprattutto nel campo dell'**archeometria**, saranno considerate sin dalla prime fasi di studio del prototipo.

# TOMOX team

- **Ud'A:** Lucia Marinangeli (responsabile scientifico)  
Loredana Pompilio, Antonio Baliva, Anna Chiara Tangari, Oliva Menozzi, Vasco Lasalvia
- **INAF-CT:** Giovanni Bonanno
- **UNI-PV:** Maria Chiara Domeneghetti, Matteo Alvaro
- **UNI-CA:** Maria Teresa Melis, Franco Frau

n.10605: TOMOX Instrument

Ente Partecipante	A carico ASI	confinanziamento
Università degli studi di G. D'Annunzio di Chieti (Pescara)	223.200	96.922
INAF Catania	38.650	7.205
Università di Cagliari	5.000	19.430
Università di Pavia	4.500	24.285
<b>Totale dell'Accordo</b>	<b>271.350</b>	<b>147.842</b>

**Geologia Planetaria**  
**Geologia di analoghi terrestri**  
**Geochimica**

**Petrografia e Petrologia delle meteoriti**








**Tecniche di analisi campioni**  
**Rivelatori e Analisi segnale**  
**Processing dati**

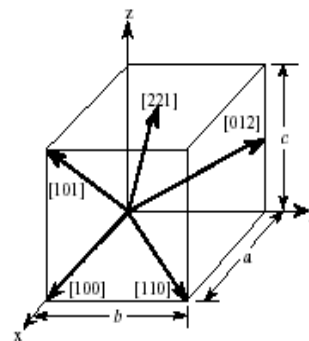
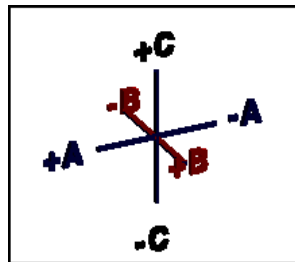
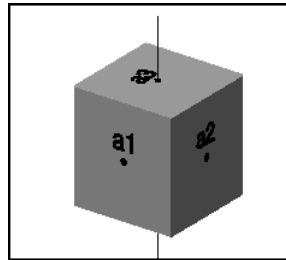
**Archeologia**  
**Archeometria**

# X-RAY DIFFRACTION (XRD) TECHNIQUE

## ELEMENTS of CRYSTALLOGRAPHY

Geometrical characteristics of the seven crystal systems.

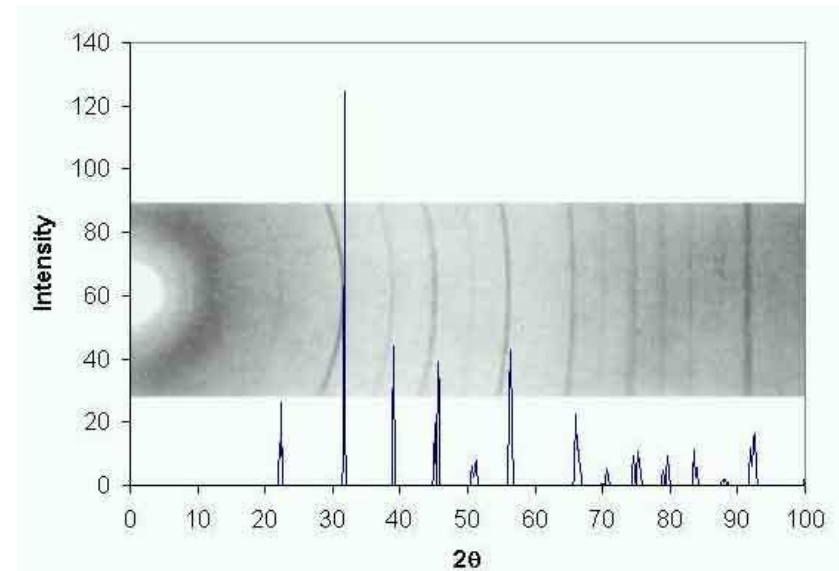
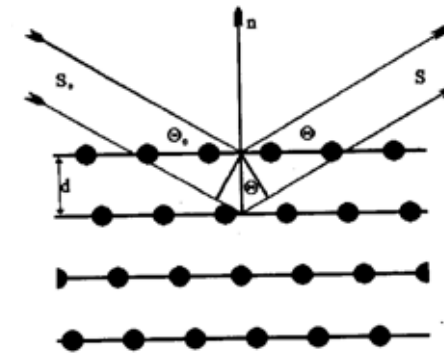
System	Axial lengths and angles	Unit cell geometry
cubic	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
orthorhombic	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
rhombohedral	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
monoclinic	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	
triclinic	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma$	



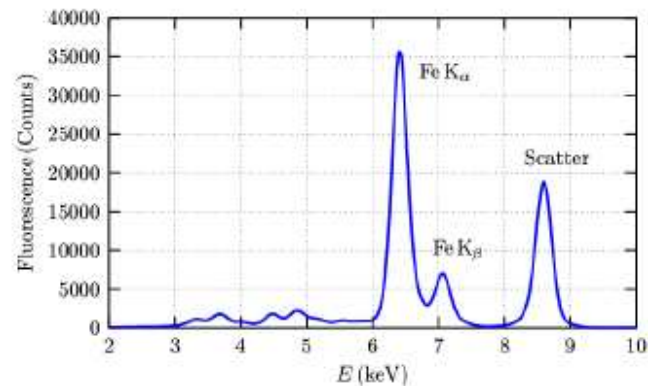
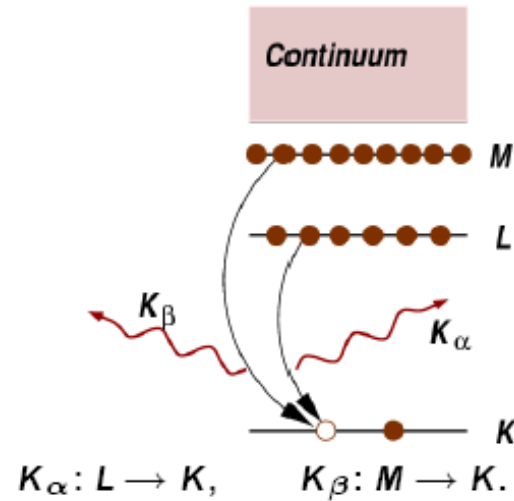
## DIFFRACTION PRINCIPLE

Bragg's Law:

$$2 d \sin \theta = n \lambda$$



# X-RAY FLUORESCENCE (XRF) TECHNIQUE



## X-Ray Emission Lines

*K*-level and *L*-level emission lines in KeV

No.	Element	Ka1	Ka2	Kb1	La1	La2	Lb1
3	Li	0.0543					
4	Be	0.1085					
5	B	0.1833					
6	C	0.277					
7	N	0.3924					
8	O	0.5249					
9	F	0.6768					
10	Ne	0.8486	0.8486				
11	Na	1.04098	1.04098	1.0711			
12	Mg	1.25360	1.25360	1.3022			
13	Al	1.48670	1.48627	1.55745			
14	Si	1.73998	1.73938	1.83594			
15	P	2.0137	2.0127	2.1391			
16	S	2.30784	2.30664	2.46404			
17	Cl	2.62239	2.62078	2.8156			
18	Ar	2.95770	2.95563	3.1905			
19	K	3.3138	3.3111	3.5896			
20	Ca	3.69168	3.68809	4.0127	0.3413	0.3413	0.3449
21	Sc	4.0906	4.0861	4.4605	0.3954	0.3954	0.3996
22	Ti	4.51084	4.50486	4.93181	0.4522	0.4522	0.4584
23	V	4.95220	4.94464	5.42729	0.5113	0.5113	0.5192
24	Cr	5.41472	5.405509	5.94671	0.5728	0.5728	0.5828
25	Mn	5.89875	5.88765	6.49045	0.6374	0.6374	0.6488
26	Fe	6.40384	6.39084	7.05798	0.7050	0.7050	0.7185
27	Co	6.93032	6.91530	7.64943	0.7762	0.7762	0.7914
28	Ni	7.47815	7.46089	8.26466	0.8515	0.8515	0.8688
29	Cu	8.04778	8.02783	8.90529	0.9297	0.9297	0.9498



# The past... MARS-XRD per ExoMars

**Breadboard concept baseline** (ESA FUNDING 2006)

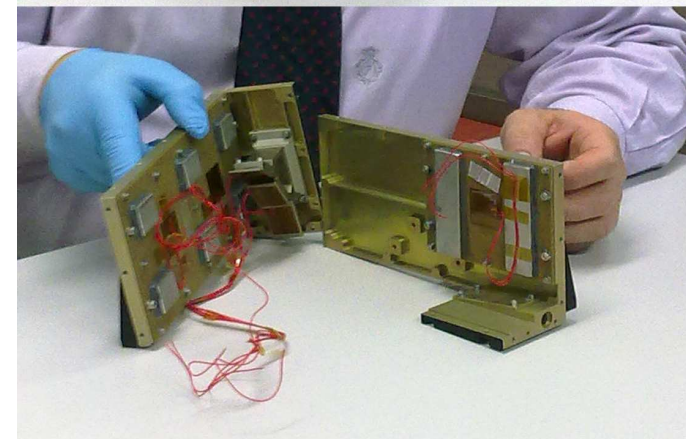
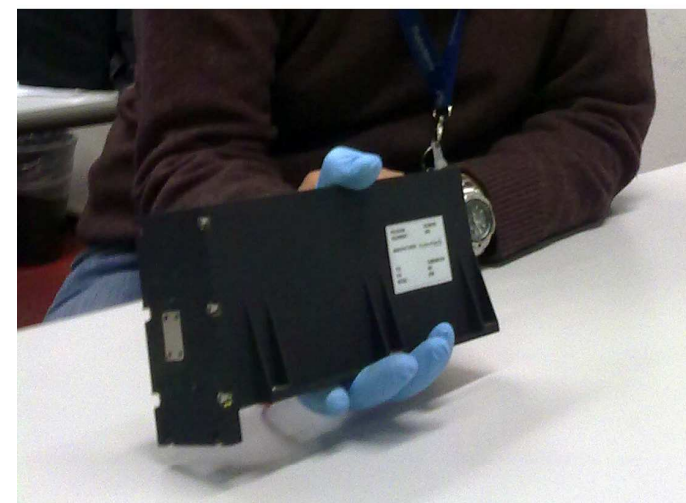
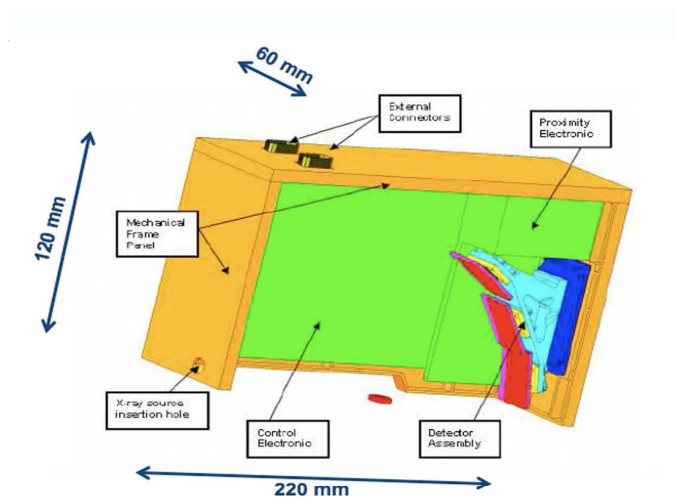
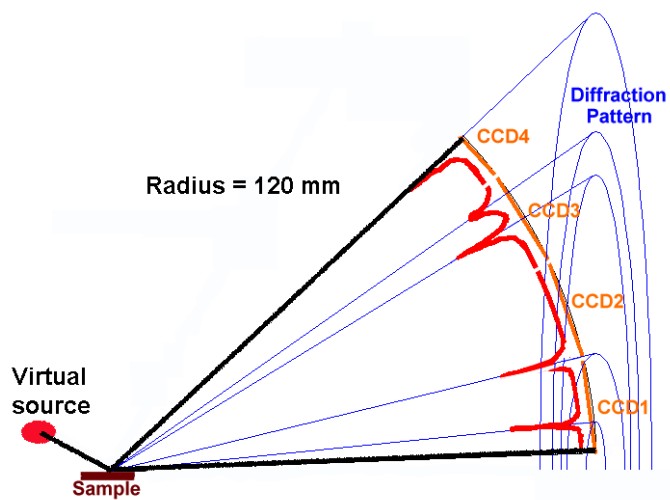
- source+collimation holding a Fe55 disk as x-ray source;
- detection chamber (under vacuum) containing 4 CCDs arranged along a curved ceramic structure of 12cm.



# MARS-XRD

MinerAlogy and ChemistRy AnalySer

Depennati dal payload di ExoMars nel 2012...





# The past... MARS-XRD per ExoMars

## Cosa abbiamo dimostrato:

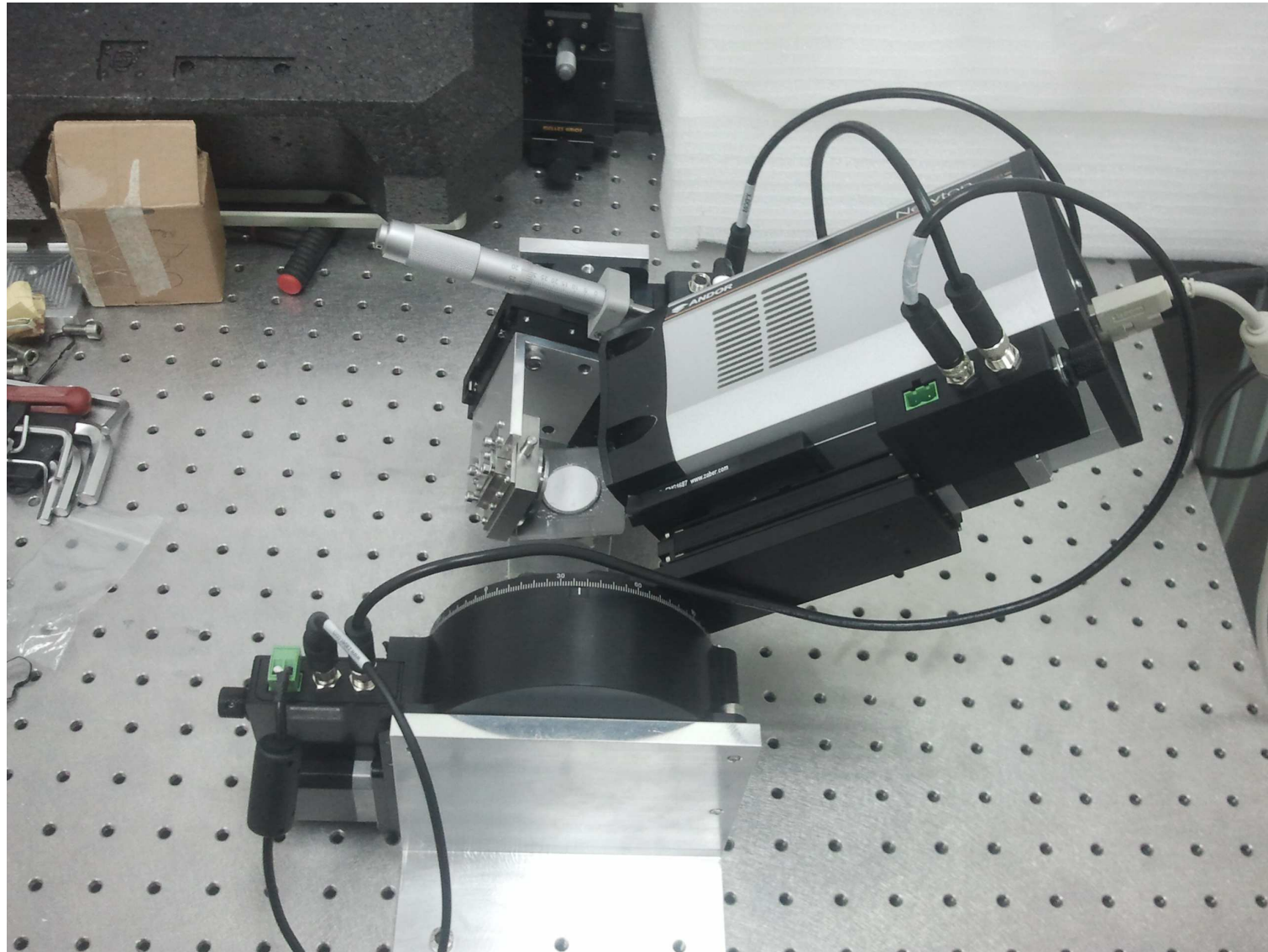
- la capacità di acquisire dati in XRD e XRF con una sorgente radioattiva dopo i primi esperimenti degli anni '60
- la capacità di acquisire simultaneamente XRD e XRF
- la funzionalità della geometria fissa di acquisizione
- la miniaturizzazione spinta
- la capacità di elaborare il dato grezzo

## Criticità:

- tempo di dimezzamento della sorgente (2,5 y per il Fe55) con conseguente diminuzione delle performance durante la missione nominale
- tempi di acquisizione lunghi per la bassa efficienza di diffrazione

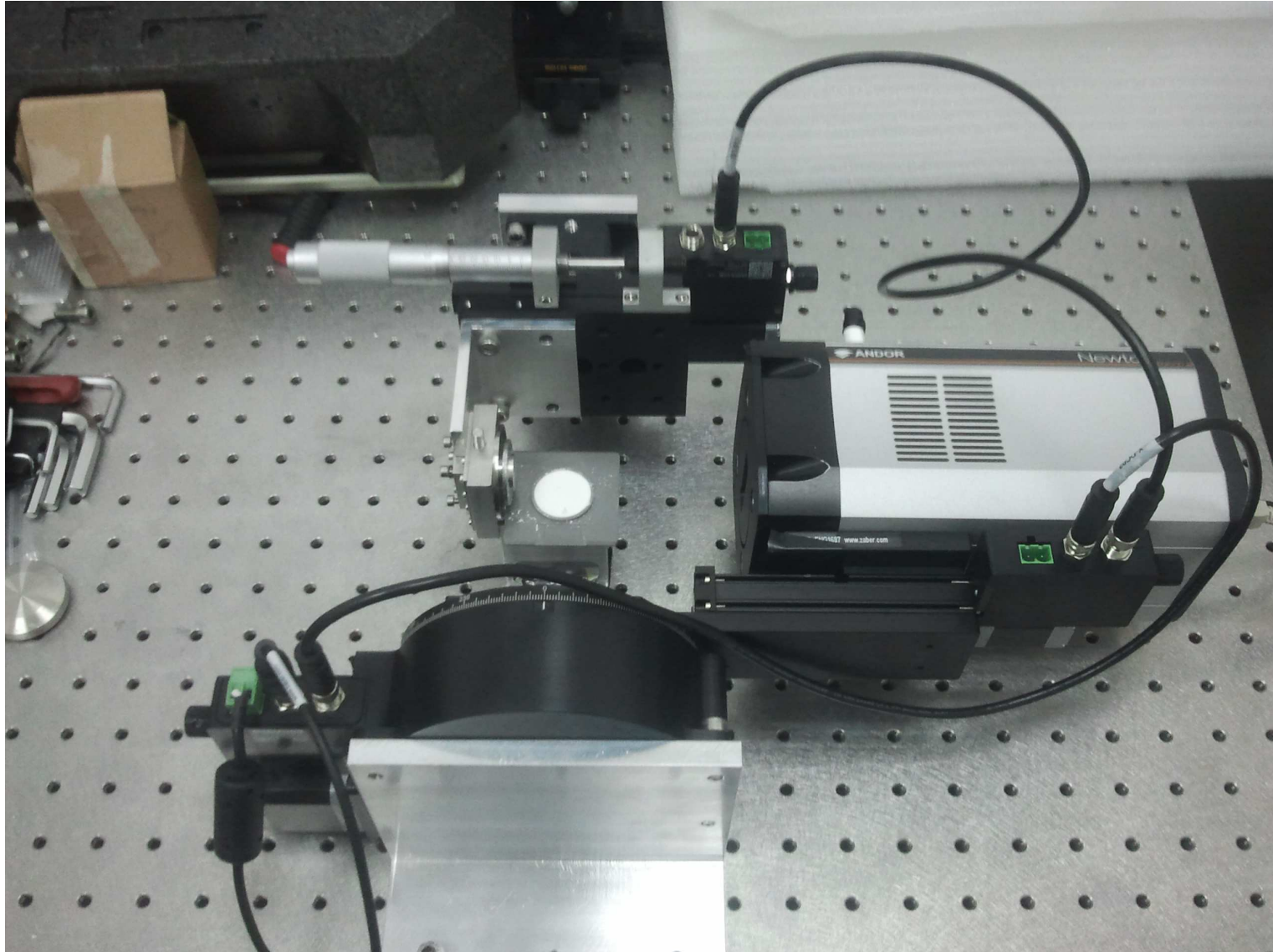
# The present... a new prototype

**Obiettivo portabilità**

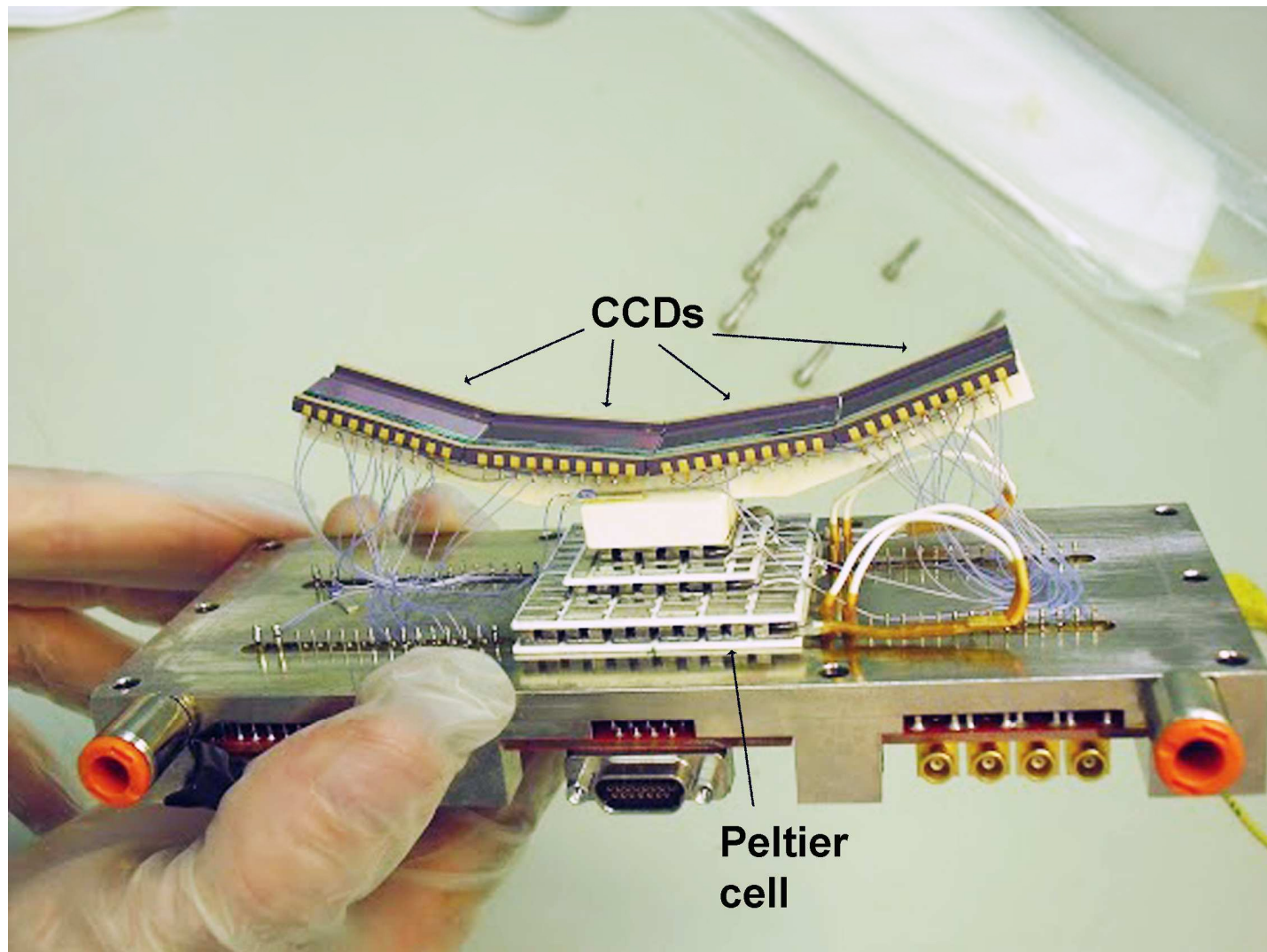


# The present... a new prototype

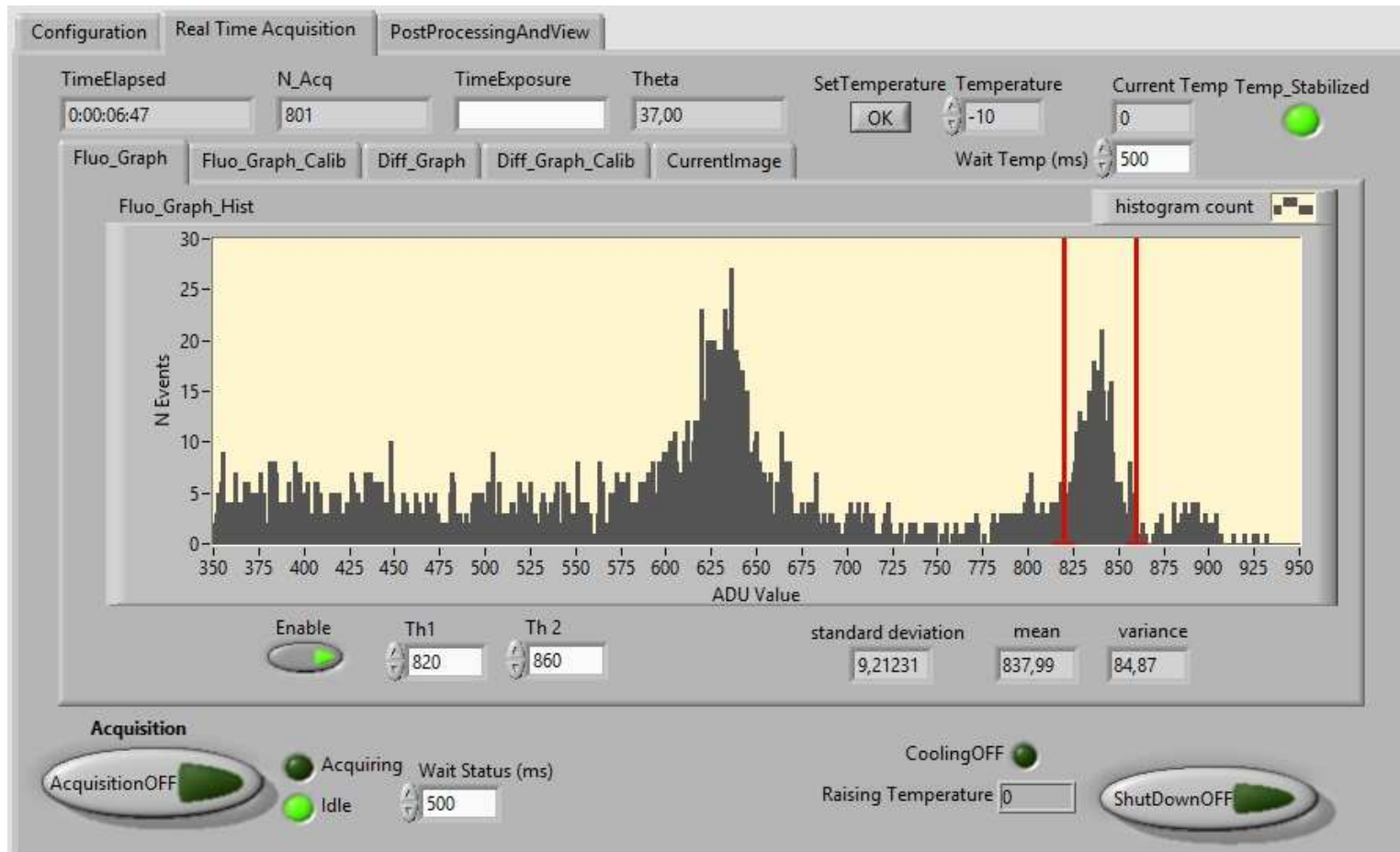
**Obiettivo portabilità**







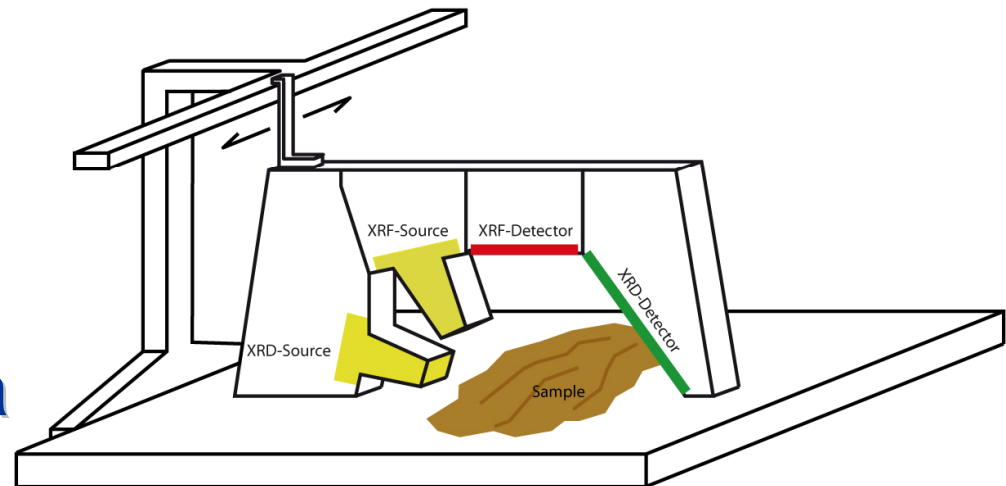
# The present... a new prototype





# The future... TOMOX

- **Sorgente:** n.2 radioisotopi, Fe55 e Cd109
- **Rivelatore:** n. 2, commerciali, CCD per XRD e SDD per migliorare XRF
- **Geometria:** mobilita' lungo due assi (x, z) per acquisizione in modalita' tomografica e messa a fuoco
- **Elaborazione dato:**  
duplice, in modalita' 2D e 3D (tomografica)  
per avere la mappatura delle composizioni



# The future... TOMOX

CCD

SDD

Newton SY | High Energy Spectroscopy  
Light Tight, -100°C  
Direct Detection

**ANDOR**  
an Oxford Instruments company

High Energy Detection

5 YEAR WARRANTY

Peak Energy: 10eV, 100eV, 1keV, 10keV, 100keV

Soft X-rays, Hard X-rays

Beryllium Window Transistors

Features and Benefits 'Standalone' Soft X-ray Spectroscopy @ -100°C



Available with active areas from 10mm<sup>2</sup> to 165mm<sup>2</sup>

Active Area (mm <sup>2</sup> )	10	25	30	40	65	100	165
Collimated area (mm <sup>2</sup> )	7	15	20	30	50	80	150
Resolution (eV)	130	130	130	130	130	135	135

Integrazione dati bidimensionali CCD e puntuali del SDD

# The future... TOMOX

Table I.2: Typical radioisotope sources used for XRF.

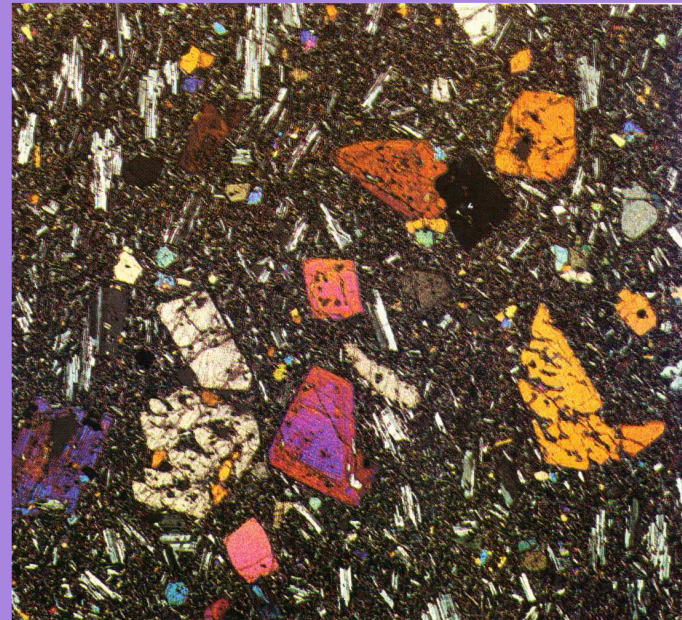
Isotope	<b>Fe-55</b>	Cm-244	<b>Cd-109</b>	Am-241	Co-57
Energy (keV)	5.9	14.3 - 18.3	22.88	59.5	122
Elements (K-lines)	Al - V	Ti - Br	Fe - Mo	Ru - Er	Ba - U
Elements (L-lines)	Br - I	I - Pb	Yb - Pu	None	None

No.	Element	Ka1	Ka2	Kb1	La1	La2	Lb1
37	Rb	13.39	13.33	14.96	1.694	1.69	1.75
38	Sr	14.16	14.09	15.83	1.80	1.80	1.87

# Major Radioactive Elements Used in Isotopic Dating

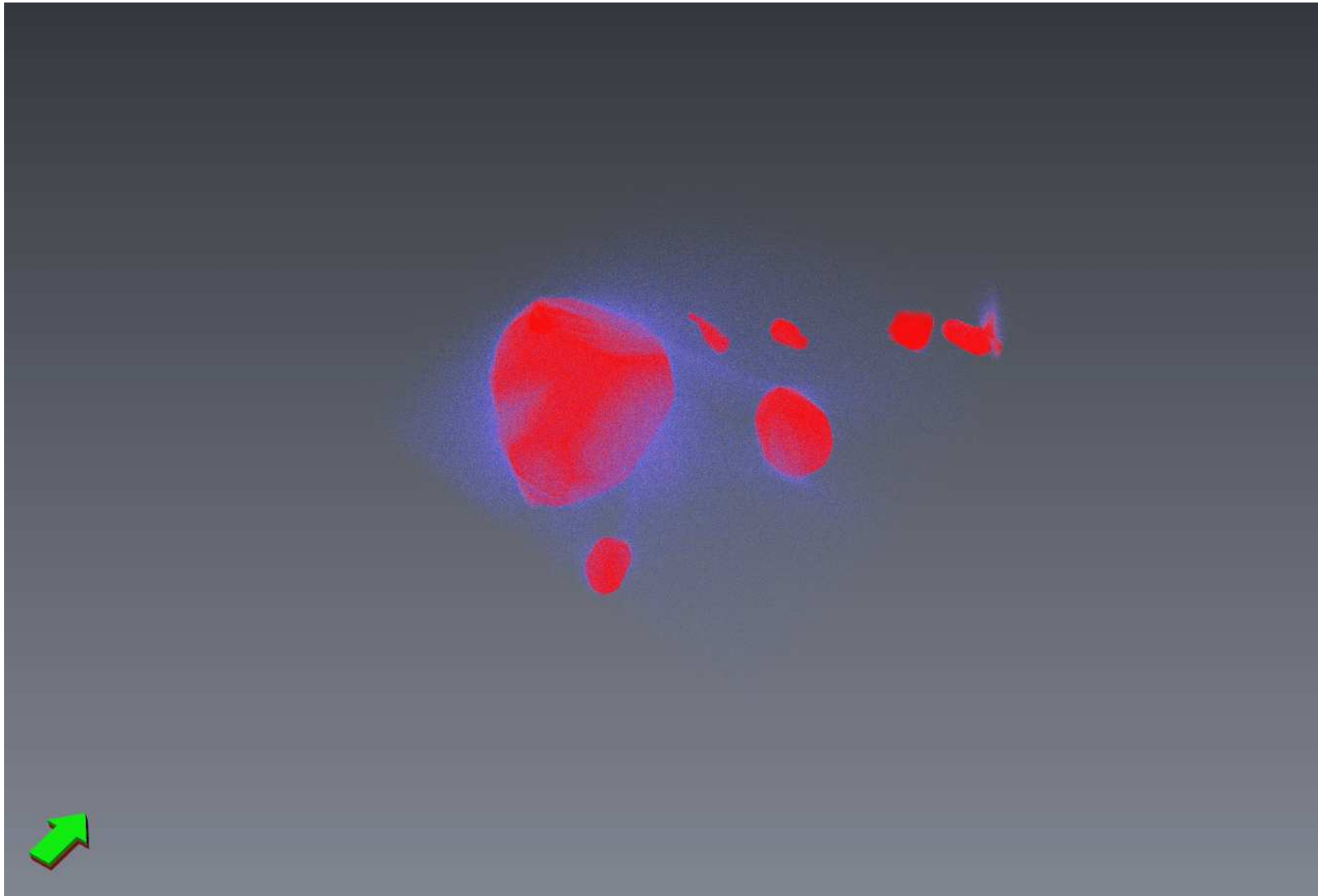
Isotopes		Half-Life of Parent (Years)	Effective Dating Range (Years)	Minerals and Other Materials That Can Be Dated
Parent	Daughter			
Uranium-238	Lead-206	4.5 billion	10 million–4.6 billion	Zircon Uraninite
Potassium-40	Argon-40	1.3 billion	50,000–4.6 billion	Muscovite Biotite Hornblende
Rubidium-87	Strontium-87	47 billion	10 million–4.6 billion	Whole volcanic rock Muscovite Biotite Potassium feldspar

Carbon



or igneous rock

in carbonate  
water, and glacier  
olved carbon



**3D reconstruction of tomographic data collected at TOMCAT beamline (PSI) showing the spatial distribution of Mg-chromites (dark red) and olivine (light red) while still trapped in their host diamond (blue background)**



# Tomografi a raggi-X per applicazioni commerciali: stato dell'arte



TRACER - XRF portatile della Bruker  
per applicazioni archeometriche



## Principio dell'uniformitarismo o attualismo

**James Hutton**, 1726-1795

**“il presente è la chiave per capire il passato”**

Teoria che rigetta l'idea che forze catastrofiche siano state responsabili dell'attuale condizione della Terra, ma l'azione continua dei processi che conosciamo attualmente è responsabile delle condizioni passate, presenti e future del pianeta.

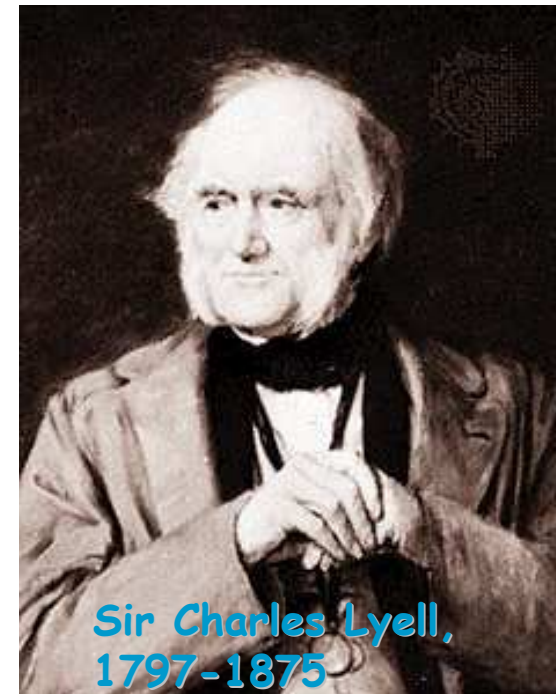
Ricostruì l'età della Terra in milioni di anni contro le migliaia derivate dalla Bibbia.



**James Hutton,**  
1726-1795

Le idee di Hutton non acquisirono credito presso la comunità scientifica fino a che Sir **Charles Lyell** pubblicò “Principles of Geology” (1830-1833) dove presentò evidenze che confermavano le ipotesi di Hutton.

**Continuità e misura del tempo...**



**Sir Charles Lyell,**  
1797-1875