

# Fisica Applicata

## Ambiente e Beni Culturali

Massimiliano Clemenza (UNIMIB-DFO e INFN-MIB)

## Di cosa ci occupiamo?

sviluppare/ottimizzare/implementare tecniche di misura da utilizzare in ricerche applicate all'Ambiente e ai Beni Culturali in stretta collaborazione con INFN e CNR

- Ambiente:

Misure di Radioattività e di Elementi in traccia in campioni Glaciologici (Ghiacciai Alpini e Antartide)

- Beni Culturali:

CHNET\_TANDEM: R&D Gruppo V INFN (UNISS-LNS-UNIPV-ISIS<sub>RIKEN</sub>-RAL)

Analisi non distruttive con Neutroni etc... (ISIS@RAL, PSI, BNC)

Progetto Sant'Imbenia campioni Nuragici (UNISS – LNGS - DISAT)

## Ambiente: datazioni carote di Ghiaccio e studio del Paleoclima

INFN, DISAT\_EUROCOLD, LENA (UniPV)

(G.Baccolo; E. Di Stefano; M. Clemenza; M. Nastasi; E. Previtali; B. Delmonte; V. Maggi, M.Prata, A. Salvini)

### Analisi elementare

Caratterizzazione elementare per studio  
sorgenti particolato

### Attivazione neutronica

da  $10^2$  a  $10^{-3}$  ng di **oltre 35 elementi**  
in campioni di particolato  
di **20-30  $\mu\text{g}$  di polvere**



Carota **antartica (TALDICE)**  
età stimata maggiore **di 150,000 anni**



### Radioattività Ambientale

Spettroscopia gamma e beta

### Ghiaccio dell'Adamello

$^{137}\text{Cs}$  e  $^3\text{H}$  individuazione orizzonti di  
riferimento **dei Test Nucleari del  
1963**

### Crioconiti:

nuovo monitor ambientale per l'inquinamento atmosferico  
**concentratore di radionuclidi naturali e non**  
 $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{241}\text{Am}$   $10^3$ - $10^4$  più concentrati  
in qualsiasi altro sedimento



**Glaciologia e paleoclima: Datazione di carote di ghiaccio**

**Fallout Radioattivi: Tecniche utilizzate**

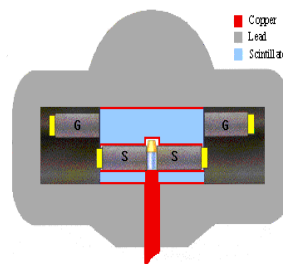
**$^{137}\text{Cs}$ : Spettroscopia gamma con HpGe**

**$^3\text{H}$ : Spettroscopia beta con Scintillazione liquida**

- Rivelatori al Germanio Iper puro → Gekan
- Gepozzetto

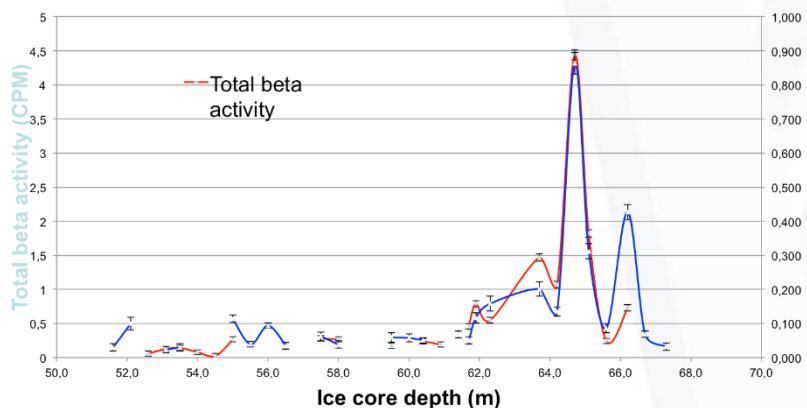


- Spettrometro → Quantulus 1220



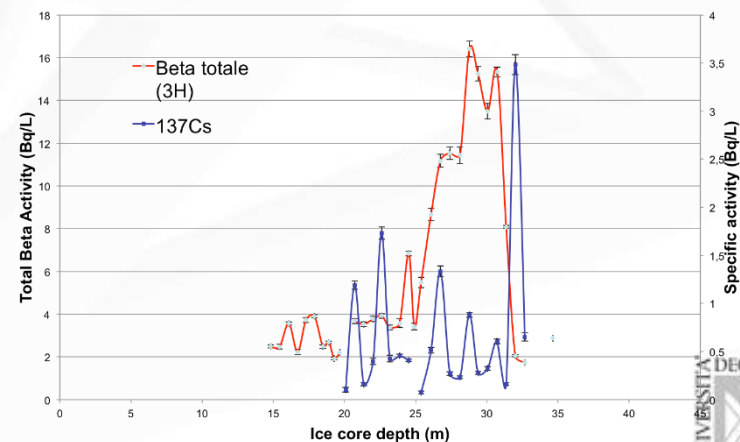
**Ghiacciaio del Lys**

Spettroscopia gamma vs Scintillazione liquida



**Ghiaccio Adamello**

Spettroscopia gamma vs Scintillazione liquida



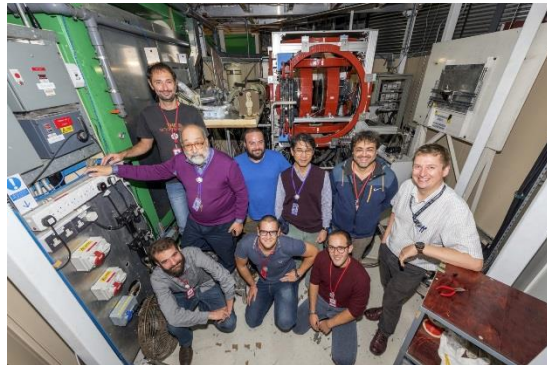
## Beni Culturali: R&D di tecniche analitiche

### CHNET-TANDEM: Tecniche Analitiche Non Distruttive per l'archEoMetria

L'idea che sta alla base della proposta di esperimento denominata **CHNET\_TANDEM** è quella di implementare, sviluppare e ottimizzare nuove tecniche di analisi non invasive e non distruttive da utilizzarsi in ambito archeometrico per la caratterizzazione elementare di reperti

Spettroscopia X con Atomi Muonici

PORT4 RIKEN-RAL@ISIS



Gamma Prompt da Attivazione neutronica

TRIGA MARK II del LENA (UNIPV)

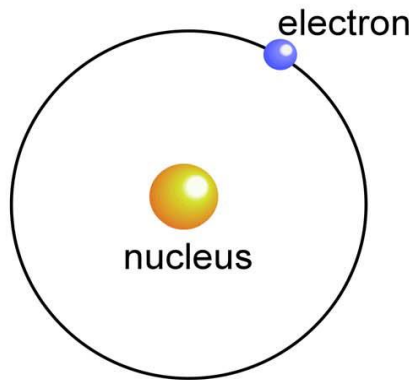


Entrambe si basano sulla rivelazione di emissioni prompt di radiazione elettromagnetica nel primo caso di tipo atomico (muonico), nel secondo di tipo nucleare.

**Spettroscopia X con Atomi Muonici:** questa tecnica prevede l'esposizione del campione ad un fascio collimato di muoni (presso il Rutherford Appleton Laboratory) e la rivelazione dei raggi X caratteristici emessi in seguito alla formazione di atomi muonici nel bersaglio.

## Muonic Atom

$$m_{\omega} = 105.658389 (34) \text{ MeV}/c^2 .$$



Atom



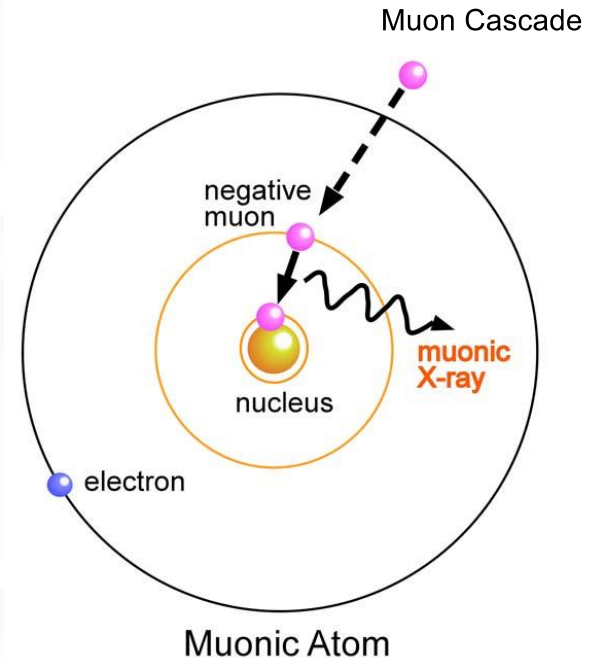
$$\frac{m_{\omega}}{m_e} = 206.7683$$

Muonic Atom

$$a_0 = \frac{n^2 \eta^2}{m_e e^2} \frac{1}{Z} \approx \frac{5.3}{Z} 10^4 \text{ fm}$$

(for n=1)

$$a_{\mu} = \frac{m_e}{m_{\mu}} a_0 \approx \frac{1}{207} a_0$$



Muonic Atom



Beni Culturali: R&D di tecniche analitiche

**CHNET TANDEM experiment: Spettroscopia X con Atomi Muonici**

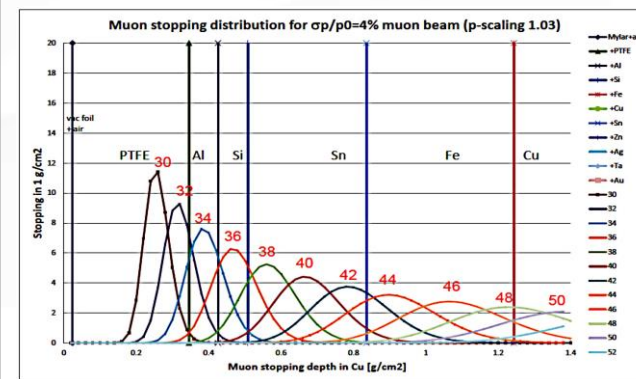
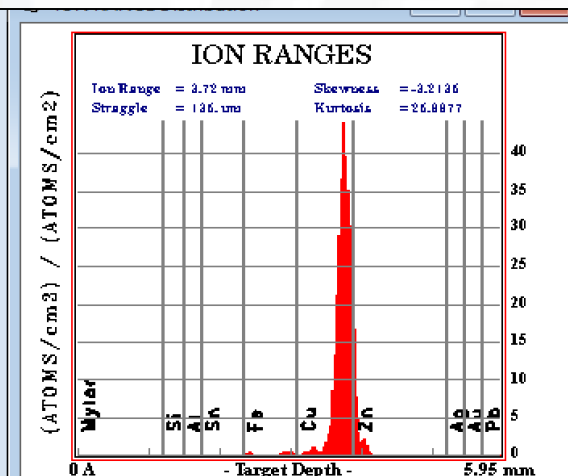
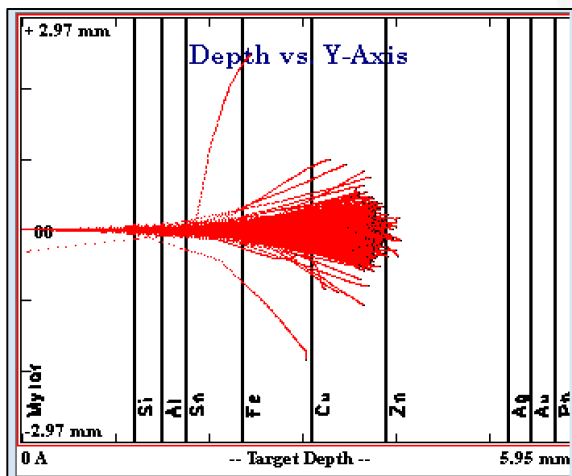
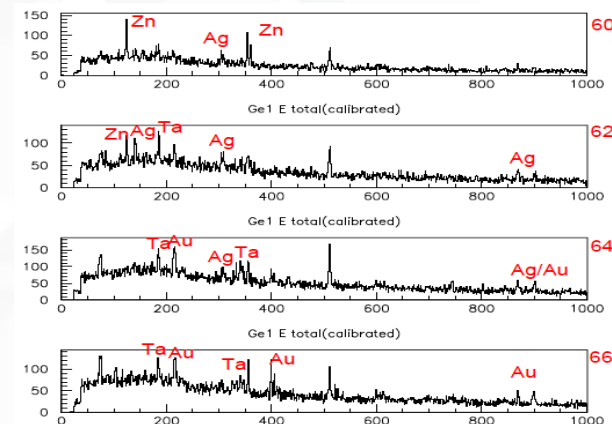
Analisi Elementare non distruttiva attraverso spettroscopia X da Atomi Muonici

PORT4 RIKEN-RAL@ISIS

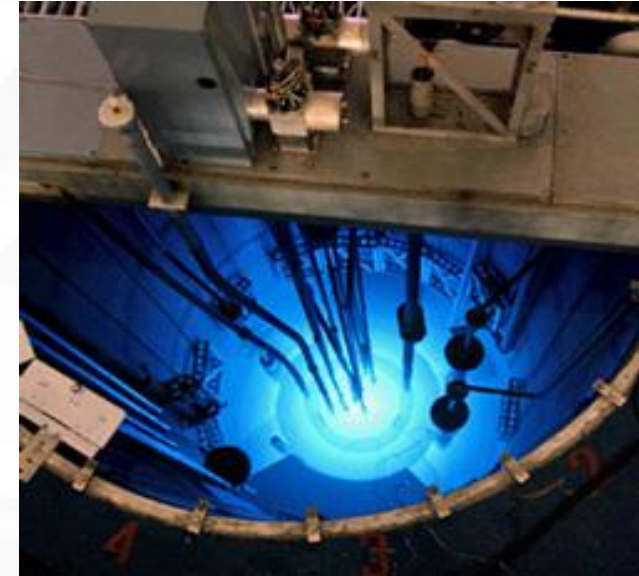
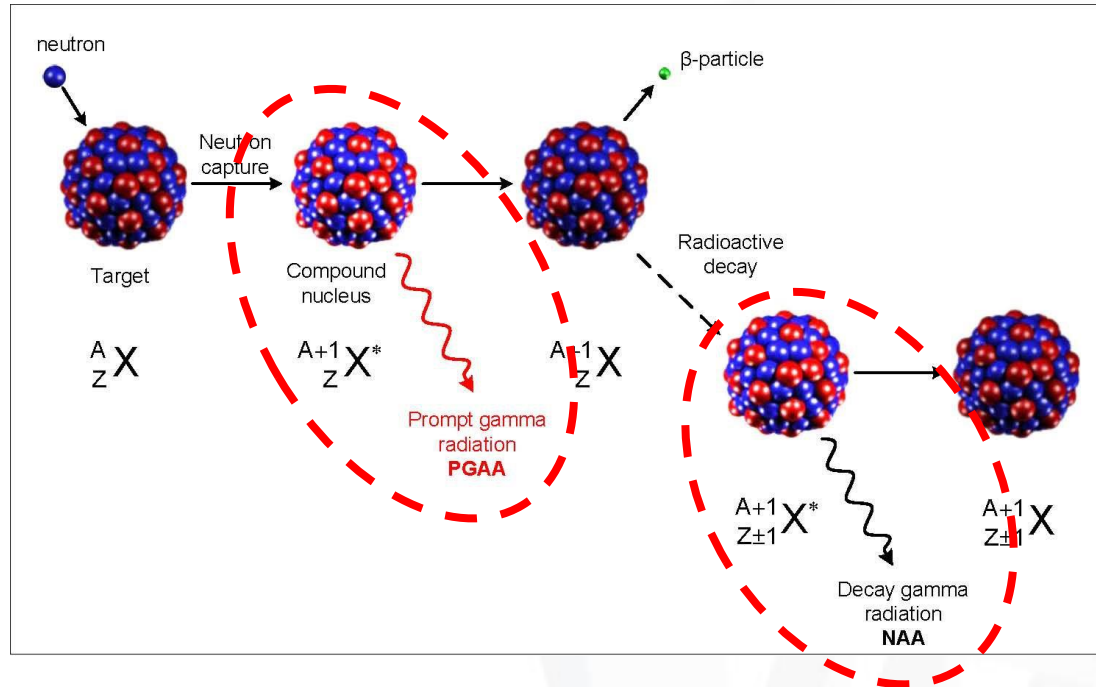
Caratterizzazione Elementare Superficiali e di Bulk senza attivazione!!

**Collaboration:**  
INFN-MIB – LNS- UNISS- UNIPV- LENA – ISIS-RIKEN\_RAL

Profondità di Impiantazione in funzione del momento/energia fascio

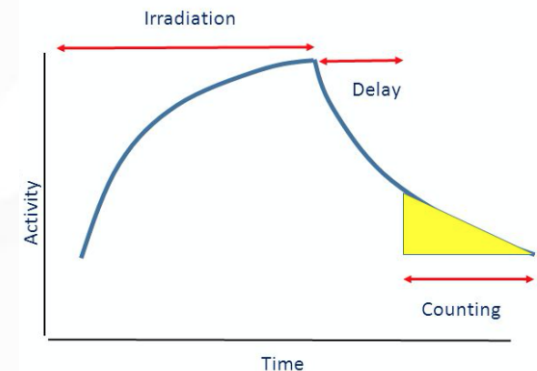


## Attivazione neutronica



**PGNAA (prompt gamma-ray NAA).** The gamma emission is measured during neutron bombardment. Used for those elements that: - have a high neutron capture section (eg B, Cd, Sm, Gd) - decay very rapidly - do not form gamma-emitter isotopes - have weak gamma emission

**DGNAA (delayed gamma-ray NAA).** The gamma emission is measured after an adequate period of decay. It is the most widespread technique and is to it that traditionally refers to the NAA acronym.





Beni Culturali: R&D di tecniche analitiche

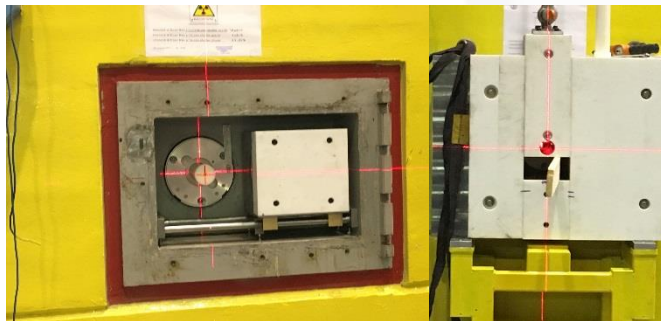
**CHNET TANDEM experiment: Prompt Gamma Neutron Activation**

Collaboration:

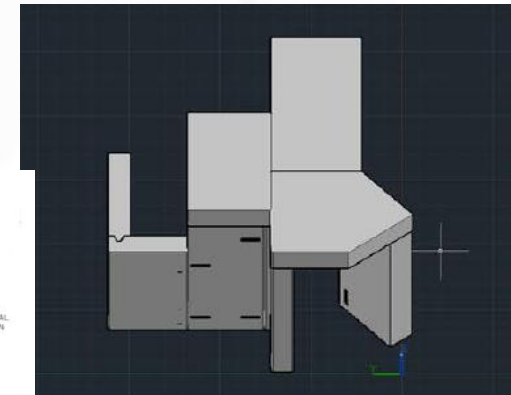
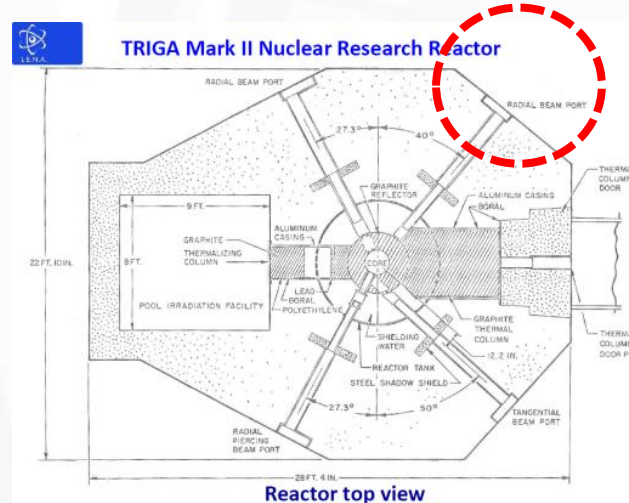
INFN-MIB – LNS- UNISS- UNIPV- LENA

Analisi Elementare non distruttiva attraverso Gamma Prompt da Attivazione Neutronica

CANALE B del TRIGA MARK II del LENA (UNIPV)



Progettazione, Simulazione e Costruzione  
Collimatore, Shutter e Schermature per  
PGNAA (unica facility in Italia)



## Misure con Neutroni etc. per Analisi non distruttive (@ISIS-RAL, PSI, BNC)

### Reperti Inorganici



**Museo Egizio (Torino)**

- Morfologia Interna
- Composizione Elementare
- Tecniche di produzione
- Stato di conservazione
- .....

### Reperti Organici

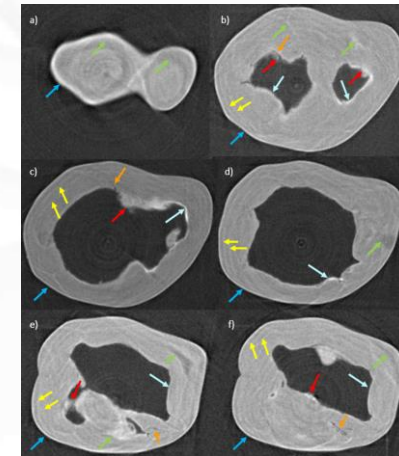
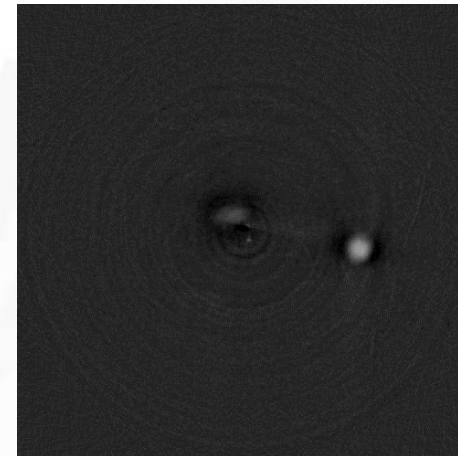


**GECI-Istituto Gemmologico**

## RADIOGRAFIA E TOMOGRAFIA

per caratterizzare la morfologia interna di reperti, Strutture di Crescita, parti vuote (sia metallici che gemmologici e ceramici)

**DIFFRAZIONE** per caratterizzare la composizione elementare e delle fasi presenti nei reperti metallici (come catene di ferro del DUOMO di Milano, canne d'organo e metalli preziosi utilizzati in oreficeria)

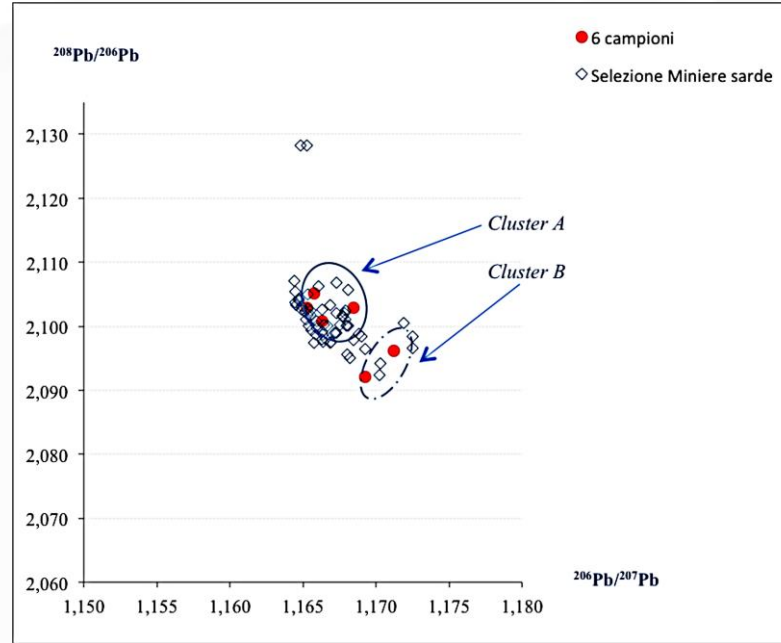


### Tecniche Complementari:

Spettroscopia RAMAN, SEM, Datazioni...etc.

**Progetto Sant'Imbenia: provenienza reperti attraverso analisi Rapporti Isotopici del Piombo**

**Collaboration:**  
INFN-MIB – LNGS- UNISS-CUDAM





## Pubblicazioni 2017-2018

Articoli su rivista:

### Applicazioni Neutroni

- D. Micieli, D. Di Martino, M. Musa, L. Gori, A. Kaestner, A. Bravin, A. Mittone, R. Navone, G. Gorini, "Characterizing pearls structures using X-ray phase-contrast and neutron imaging: a pilot study", *Scientific Reports* 8(1), 12118 (2018)
- D. Di Martino, E. Perelli Cippo, G. Gorini, "From tiny gold filigrees to majestic iron tie rods: Neutron facilities for the benefit of cultural heritage", *European Physical Journal Plus* 133(9), 371 (2018)
- D. Di Martino, et al "A neutron diffraction and imaging study of ancient iron tie rods", *Journal of Instrumentation* 13(5), C05009 (2018)
- G. Festa, et al "Egyptian grave goods of Kha and Merit studied by neutron and gamma techniques". *Angewandte Chemie* 57(25), 7375-7379 (2018) DOI: 10.1002/anie.201713043 and 10.1002/ange.201713043
- G. Vitucci, et al, Energy-resolved neutron tomography of an unconventional cultured pearl at a pulsed spallation source using a microchannel plate camera. *Microchemical Journal* 137, 473-479 (2018), doi:10.1016/j.microc.2017.12.002
- D. Di Martino et al iDisclosing mineralogical phases in medioeval iron nails by non-destructive neutron techniques, *Archaeological and Anthropological Sciences* 9, 515-522 (2017) DOI: 10.1007/s12520-016-0384-2
- C. Andreani et al "A neutron study of sealed pottery from the grave-goods of Kha and Merit", *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 32, 1342-1347 (2017). The Royal Society of Chemistry, ISSN 1364-5544.

### CHNET\_TANDEM:

- Clemenza, M; Baldazzi, G; Ballerini, G; Bonesini, M; Carpinelli, M; Cremonesi, O; Di Stefano, E; Fiorini et al "CHNET-TANDEM experiment: Use of negative muons at RIKEN-RAL Port4 for elemental characterization of "Nuragic votive ship" samples" DOI:10.1016/j.nima.2018.11.076. In *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT* - ISSN:0168-9002.
- Soldani, M; Ballerini, G; Bonesini, M; Fuschino, F; Hillier, A; Ishida, K; Mocchiutti, E; Oliva, P; 2018. High performance DAQ for muon spectroscopy experiments. DOI:10.1016/j.nima.2018.11.003. In *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT* - ISSN:0168-9002
- Benocci, R; Bertoni, R; Bonesini, M; Cervi, T; Clemenza, M; De Bari, A; De Vecchi, C; Menegolli, A; ...2018. Performance of X-rays crystal detectors with SiPM array readout exposed to the RIKEN-RAL low energy muon beam. DOI:10.1016/j.nima.2018.10.030. In *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT* - ISSN:0168-9002

### Glaciologia:

- Baccolo, G; Delmonte, B; Cibin, G; Clemenza, M; Hampai, D; Marcelli, A; Nastasi, M; Previtali, E; Ma...2018. New results from the mineral dust record of the TALDICE ice core. pp.939-939. In *Abstract Proceedings, Polar 2018, Davos, 19-23 June 2018* - ISBN:978-0-948277-54-2
- Baccolo, G; Di Mauro, B; Massabò, D; Clemenza, M; Nastasi, M; Delmonte, B; Prata, M; P, P; Previtali...2017. Cryoconite as a temporary sink for anthropogenic species stored in glaciers. DOI:10.1038/s41598-017-10220-5. In *SCIENTIFIC REPORTS* - ISSN:2045-2322 vol.7

# COLLABORAZIONI E GRUPPI DI RICERCA

## Misure non distruttive con i neutroni:

DFO, CNR,

G. Gorini, E. Perelli Cippo, D. Di Martino, R. Cattaneo, D. Micieli, G. Vitucci,

## Esperimento INFN CHNET-TANDEM

DFO, INFN, UNISS, LNS, UNIPV, LENA, RAL-ISIS

## Fisica ambientale:

DFO, DISAT, LENA, INFN

G.Baccolo; M. Clemenza; B. Delmonte; E. Di Stefano; V. Maggi, M. Nastasi; M.Prata, E. Previtali; A. Salvini

## Progetto Sant'Imbenia:

UNIMIB-UNISS-LNGS

M. Carpinelli, M. Clemenza, M. Ferrante, E. Fiorini, S. Nisi, P. Oliva, M. Rendeli, V. Sipala, P. Trincherini, I. M. Villa,