

La Necropoli Ellenistica di Neapolis e l'Acquedotto Augusteo del Serino

VALERI TIUKOV (INFN)



CARLO LEGGIERI (CELANAPOLI)



FEDERICO CAPRIUOLI (ACAS3D)



Con i raggi cosmici alla ricerca del invisibile

Abstract

La radiografia muonica e' una tecnica emergente che permette di rivelare le variazioni di densita' come le cavita' nascoste nel sottosuolo, nelle montagne oppure all'interno delle piramidi egiziane, utilizzando i raggi cosmici e i rivelatori di particelle elementari. Fisici napoletani e giapponesi insieme alla associazione culturale Celanapoli stanno applicando questa tecnica per sondare la Necropoli Ellenistica di Neapolis. I rivelatori basati sull'utilizzo di emulsioni fotografiche, non avendo necessita' ne' di elettricita' ne' di manutenzione, permettono una indagine non invasiva dei siti archeologici presenti nel sottosuolo urbano. Per rivelare gli elementi strutturali oppure le cavita' nascoste e' indispensabile avere un modello 3D preciso dell'ambiente circostante, in modo da esaminare le differenze tra il flusso di muoni misurato dal rivelatore rispetto a quello atteso dalla simulazione. I modelli geomatici della Necropoli Ellenistica in preparazione da ACAS3D sono in perfetta sinergia con le misure di radiografia muonica poiche' permettono una corretta interpretazione dei dati osservati.

Una risorsa scientifica ed economica

Chi sono i fisici

I fisici sono una grande comunità di scienziati che cerca di **scoprire i meccanismi più nascosti dell'universo, indagando i principi primi della natura.**

Per questo i fisici realizzano **gli esperimenti più grandi, usano le tecnologie più innovative** (e spesso le inventano) ed

effettuano **le misure più** che l'umanità possa fare.

Misurano le quantità più e più grandi che esistano.

Tra le tante **invenzioni** sono diventati famosi il **W** **Risonanza Magnetica** e la realizzazione della più macchina del mondo,

L'INFN è:

- **5000 ricercatori** (2000 propri e 3000 universitari associati)

- **1300 giovani** tra laureandi, borsisti e dottorandi

- **270 milioni** di euro (circa) il bilancio annuale

- **2500 in un anno** le pubblicazioni scientifiche dei ricercatori INFN

- **Presenza qualificante nelle principali imprese scientifiche mondiali:** spesso gli scienziati dell'INFN dirigono o co-dirigono gli esperimenti e i programmi internazionali più importanti

- Per ogni 10 euro investiti ne ritornano quasi 11 in commesse internazionali per le aziende italiane. Sono **150 le aziende italiane** che hanno ricevuto una commessa dal CERN per la sola costruzione dell'acceleratore LHC

- La valutazione dell'Istituto è compiuta dal **Comitato di Valutazione Internazionale (CVI)** composto da esperti di fama internazionale con competenze scientifiche ed economiche

• Presente in 16 Region

- **4 grandi Laboratori Nazionali**
- **20 sezioni**
- **11 gruppi collegati**
- **1 centro di calcolo nazionale**

- L'INFN da anni sperimenta la **terapia del cancro** con protoni nel suo laboratorio di Catania. È co-responsabile del CNAO di Pavia, primo centro di adroterapia antitumorale in Italia ed è all'avanguardia per le applicazioni della fisica ai beni culturali e per le tecnologie informatiche

• Programmi di collabor



Realizzati dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sono il più grande centro di ricerca sotterraneo al mondo per la fisica astroparticellare.

La fisica astroparticellare

Studia i **"messaggeri cosmici"** cioè le **particelle** che arrivano sulla Terra dallo spazio profondo, portando informazioni sulla loro origine e quindi sul nostro universo.

Il silenzio cosmico

La montagna sovrastante funge da **schermo** per la maggior parte dei **raggi cosmici**. Riducendo così il rumore di fondo è possibile studiare i neutrini ed altre particelle che interagiscono debolmente con la materia e riescono ad arrivare fino ai laboratori.

I due filoni ricerca

Neutrini

Materia oscura

Esperimenti

LUNA è un laboratorio di **astrofisica nucleare** sotto il massiccio del Gran Sasso, per studiare le **reazioni nucleari** che avvengono nelle stelle.

OPERA studia il fenomeno dell'**oscillazione del neutrino**, cioè la trasformazione dei neutrini da un tipo in un altro. Dal CERN di Ginevra sono inviati al Gran Sasso neutrini muonici alcuni dei quali durante il percorso di 730 chilometri attraverso la crosta terrestre si trasformano in neutrini tauonici. Nel 2010 Opera ha rivelato il primo neutrino tau proveniente dal CERN.

Borexino studia principalmente i **neutrini di energia intermedia** che arrivano dal Sole ed è riuscito a rivelare anche i primi **geo-neutrini**, provenienti dalle profondità della Terra.



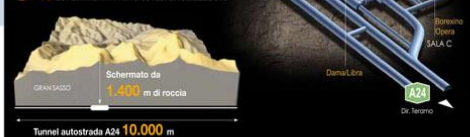
GERDA e CUORE studiano le proprietà fondamentali del neutrino, attraverso l'osservazione di fenomeni rari come il **decadimento nucleare doppio-beta**.

Lo scopo di **DAMA/LIBRA** e **WARP** è rivelare la **presenza di particelle di materia oscura**, quel tipo di materia che costituisce il **25% dell'universo** e di cui sappiamo pochissimo.

I laboratori sotto la montagna

LNCS I numeri

circa **950 RICERCATORI** da 29 diversi Paesi
circa **15 ESPERIMENTI** in diverse fasi di realizzazione



Che cos'è LHC

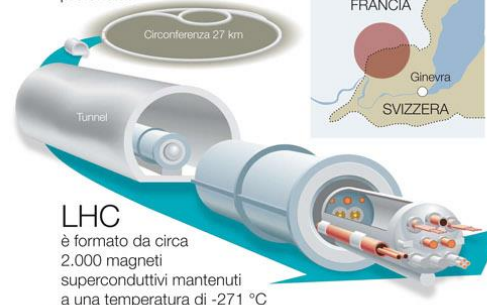
È la più potente macchina al mondo, nel cui interno sono accelerati protoni ad altissima velocità, che vengono fatti scontrare fra di loro. Dagli urti nascono moltissime particelle che vengono registrate dai rivelatori e poi analizzate dai fisici.

Com'è fatto e dove si trova

Gli esperimenti sono condotti lungo il percorso di un tunnel circolare sotterraneo situato a 100 m di profondità

■ Dove si trova

Al Cern di Ginevra, al confine tra Francia e Svizzera

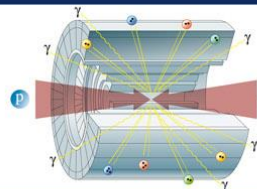


LHC è formato da circa 2.000 magneti superconduttivi mantenuti a una temperatura di -271 °C

Gli obiettivi di LHC

Il bosone di Higgs

La sfida di LHC è rivelare, (grazie all'enorme energia con cui fa scontrare fra loro pacchetti di protoni), il bosone di Higgs, la particella in grado di spiegare come mai esiste la massa.



La Supersimmetria

Uno degli obiettivi di LHC è verificare la teoria supersimmetrica in base alla quale a ogni particella bosonica è associata una particella fermionica e viceversa.

LHC parla anche italiano

L'Italia ha contribuito per circa il 15% al budget dell'intero acceleratore

Il ruolo delle industrie italiane

Le industrie italiane hanno costruito numerose parti di LHC con tecnologie avanzate. Il ritorno in commesse per le industrie italiane è superiore a quanto investito.

L'apporto dei nostri fisici

Sono circa 600 i fisici italiani impegnati alla realizzazione di LHC e dei suoi esperimenti. Gli scienziati italiani sono coordinati dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).

Le responsabilità degli italiani

Gli italiani hanno sempre avuto grandi responsabilità in questa impresa scientifica. Sono numerosi i fisici italiani che rivestono ruoli di coordinamento negli esperimenti al CERN.

Il contributo INFN a GRID

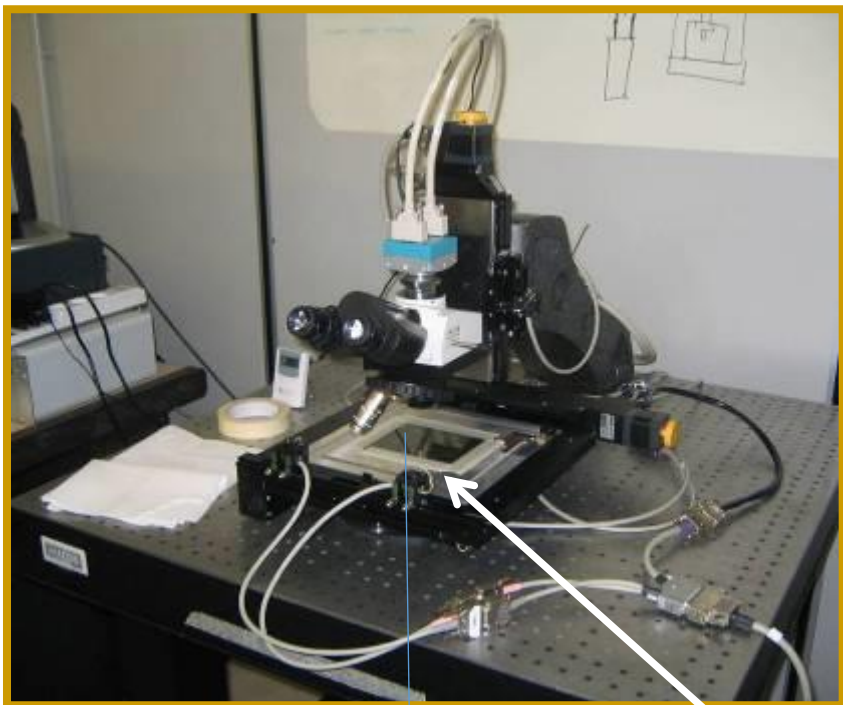
L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ha stimolato la costruzione della rete di supercalcolo GRID in Europa e nel mondo.

GRID è uno strumento essenziale per elaborare la grande mole di dati prodotta da LHC. L'INFN è il coordinatore dei progetti europei il cui obiettivo è ampliare GRID verso l'Asia, in particolare verso l'India e la Cina.

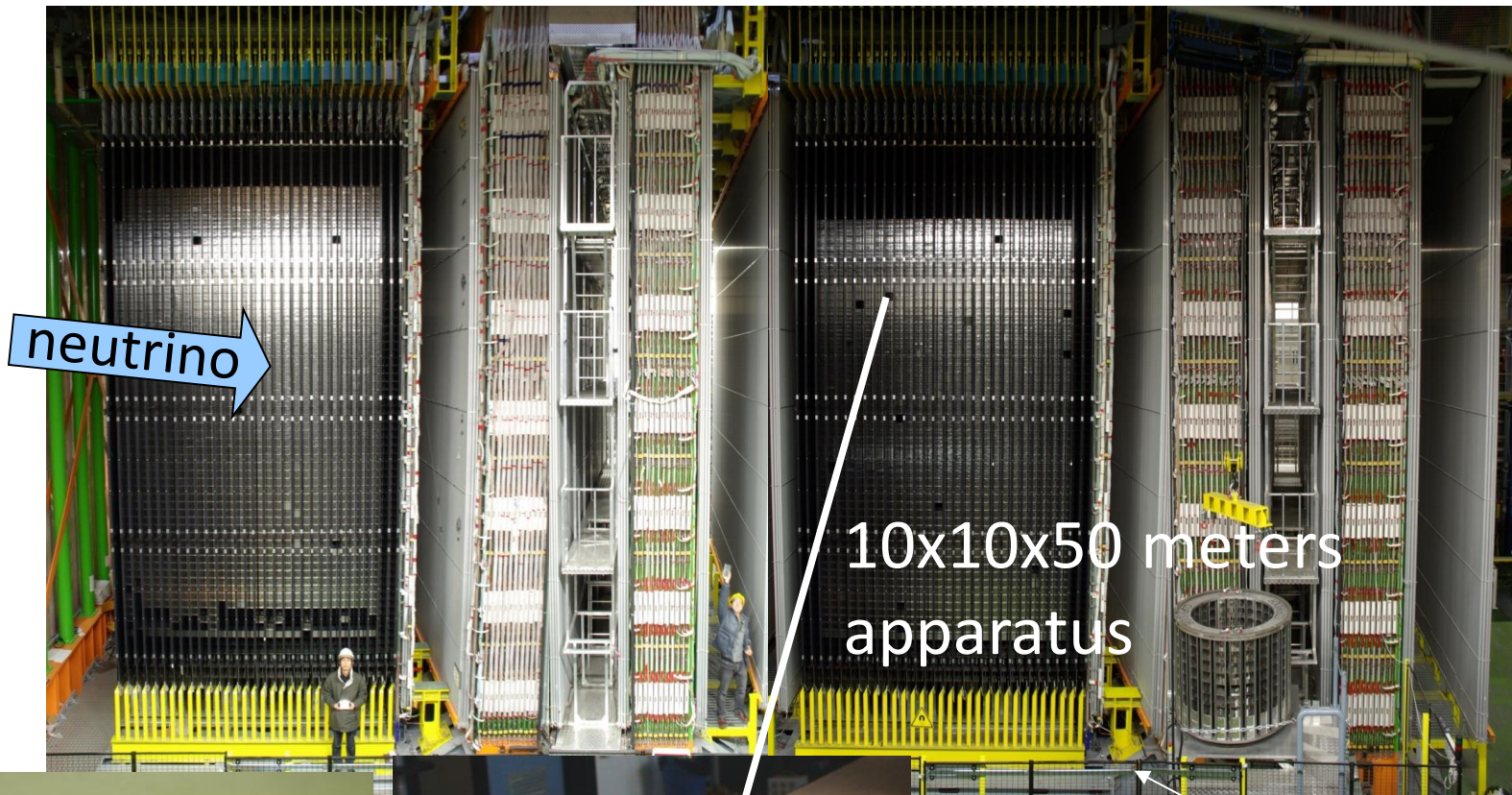
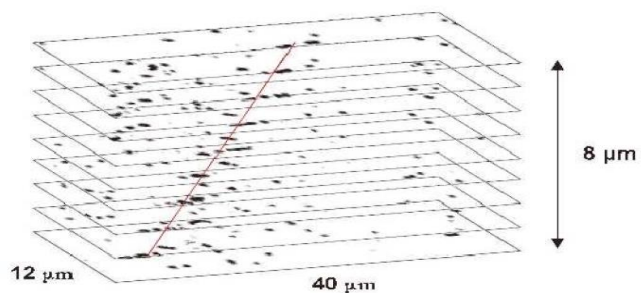
The OPERA detector: 8.9 mln films with the total emulsion sensitive surface of 200000 m²

15/06/2015 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillation is observed!

<http://home.web.cern.ch/about/updates/2015/06/opera-detects-its-fifth-tau-neutrino>



Tomography images taken with 2.5 microns step



LuBeC 2019



ECC "brick"
57 emulsion plates
56 lead plates
10x12x7 cm, 8 kg

OPEN

The Continuous Motion Technique for a New Generation of Scanning Systems

Andrey Alexandrov^{1,2}, Annarita Buonauro^{1,3}, Lucia Consiglio³, Nicola D'Ambrosio⁴, Giovanni De Lellis^{1,3}, Antonia Di Crescenzo^{1,3}, Giuliana Galati^{1,3}, Valerio Gentile⁵, Adele Lauria^{1,3}, Maria Cristina Montesi^{1,3}, Valeri Tioukov¹, Mikhailo Vladymyrov^{2,6} & Elena Voevodina^{1,2,3}

Received: 10 April 2017

Accepted: 4 July 2017

Published online: 04 August 2017

In the present paper we report the development of the Continuous Motion scanning technique and its implementation for a new generation of scanning systems. The same hardware setup has demonstrated a significant boost in the scanning speed, reaching 190 cm²/h. The implementation of the Continuous Motion technique in the LASSO framework, as well as a number of new corrections introduced are described in details. The performance of the system, the results of an efficiency measurement and potential applications of the technique are discussed.

Periodic motion along Z:
55 ms down, 25 ms up

Constant-speed motion along Y (or X):
~3400 μm/s, ~9 μm between frames

55 ms
data acquisition

25 ms
back motion

80 ms
duty cycle



bottom layer

What the microscope camera shows in one emulsion film..

170 μm

250 μm

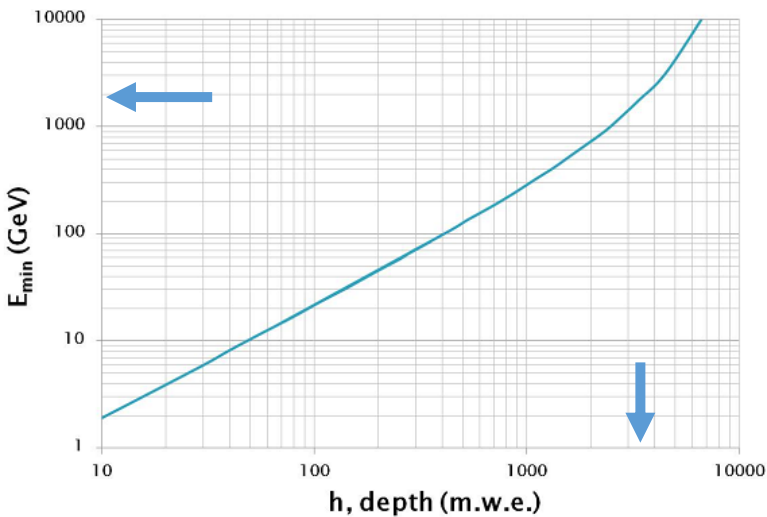
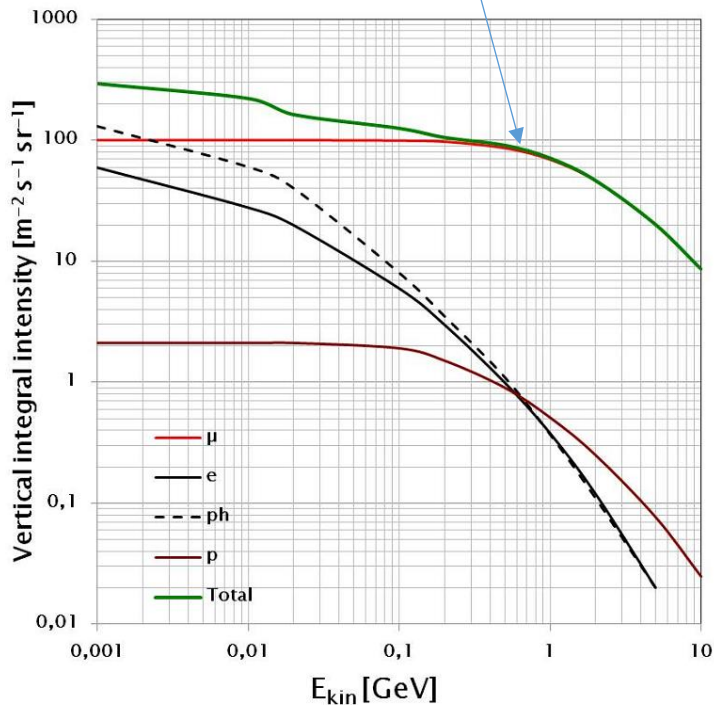
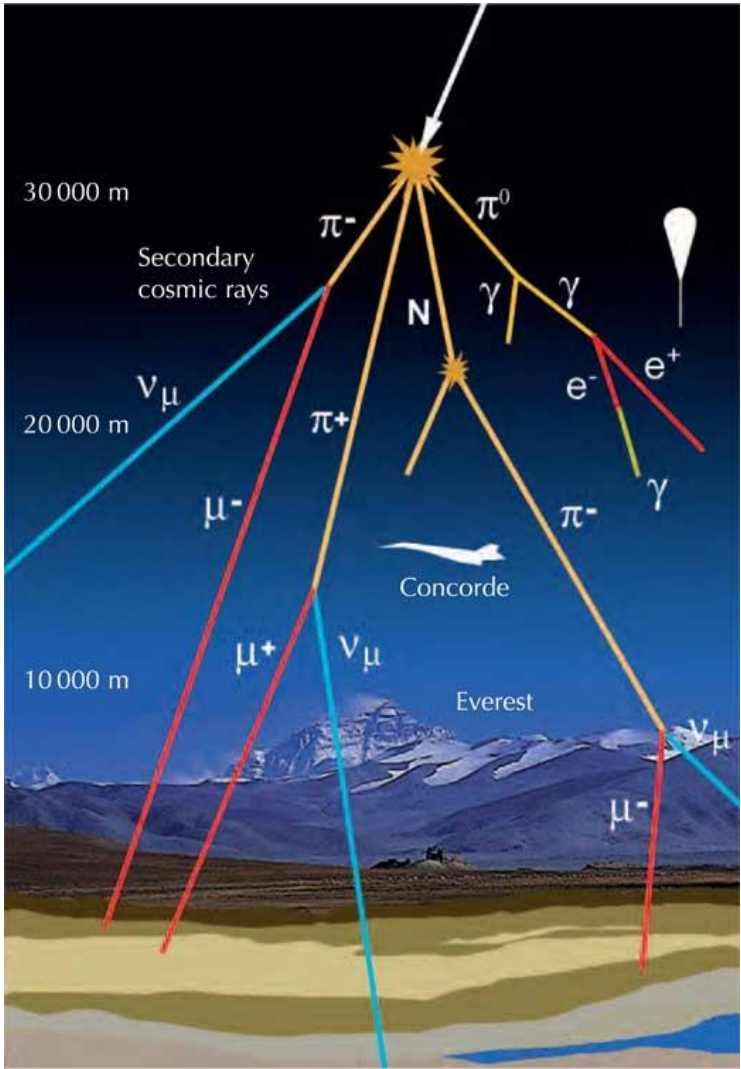
Muons produced by protons coming from space in the upper layers of atmosphere (@20 km asl)

Atmospheric muons

Muons flux is well studied and quite stable in time at the energies exceeding 1 GeV

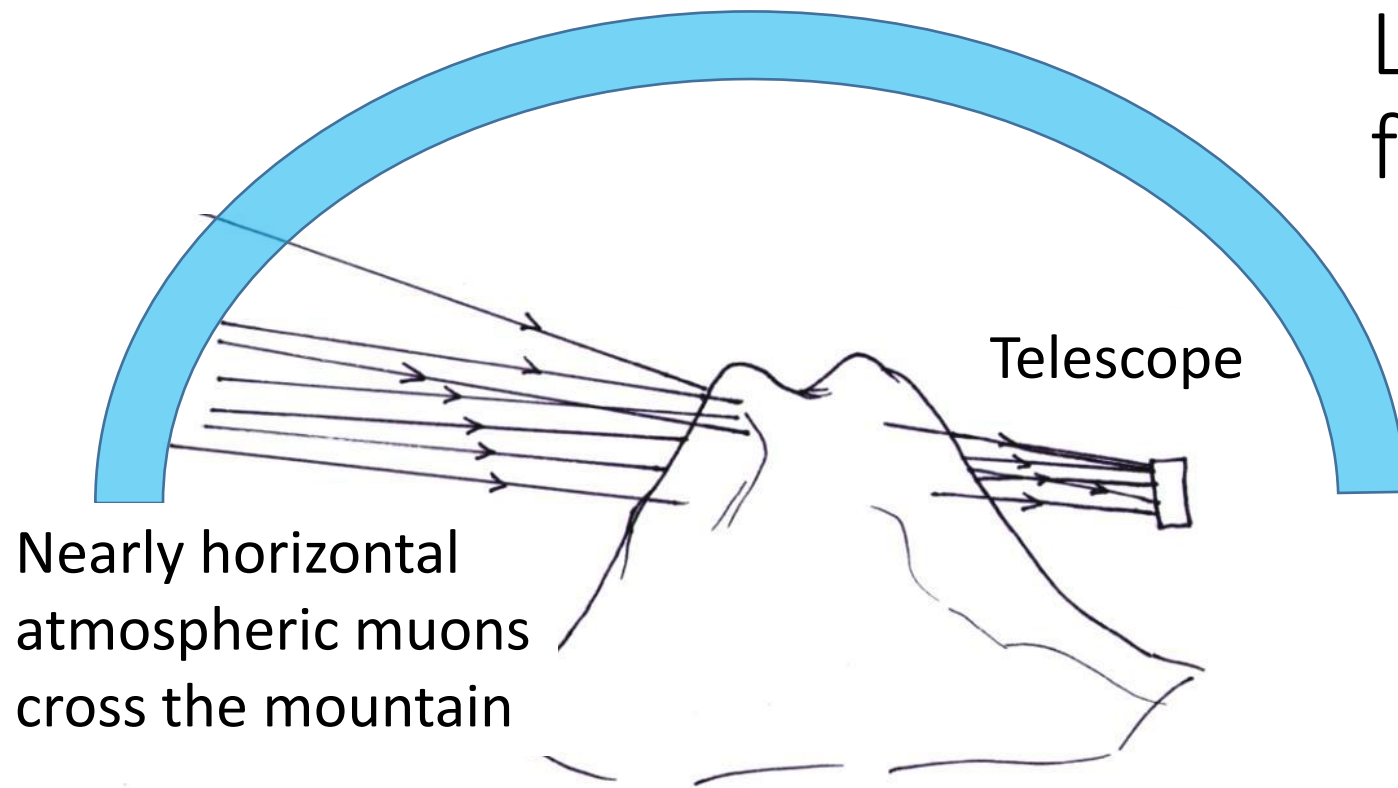
Them are dominating ionizing particles at sea level

Muons are highly penetrating and cross thick layers of material if have enough initial energy: 2TeV -> 3 km w.e.



Can be used for radiography of bulky objects

Limits and requirements for volcanoes radiography



- The method is limited to the upper part of the mountain above the detector
- Low muons rate do not allow to have short exposure – months is a typical time scale
- 1 km of the rock thickness is an approximate upper limit for 1-few m² detectors with few months exposure

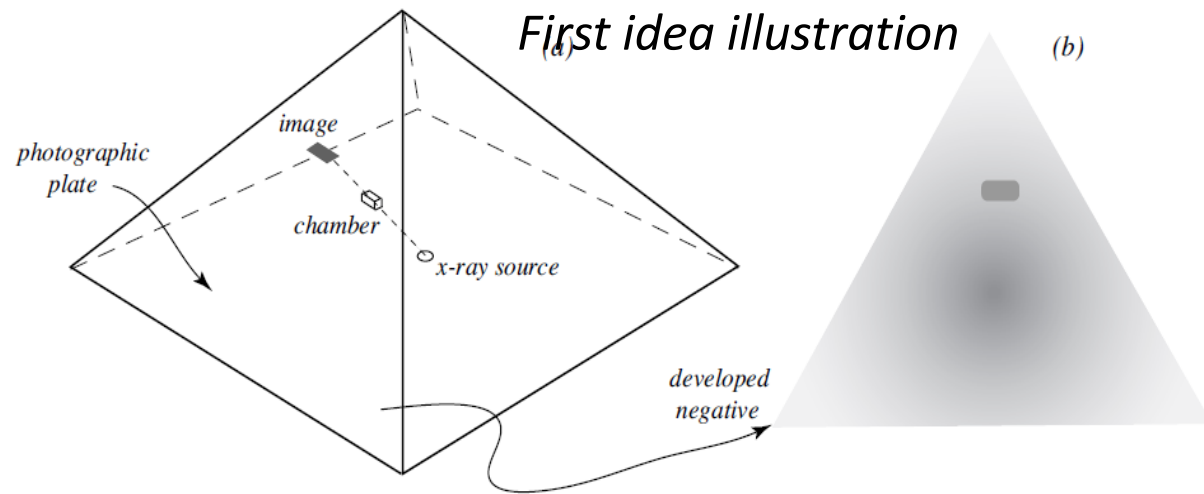
- It's assumed that the muon flux and spectrum well known and nearly constant
- Assumed the precise knowledge about the mountain shape
- What we can obtain is the angular map of the average rock density using the muons **absorption** information
- **Detector should provide precise angle for each particle passed through**

1963: First application of muon radiography for archeology

Dr. Luis Alvarez, Nobel Prize Winner

1963, Chephren's pyramid, Giza

Is there a “secret chamber” ?



2007: First application of muon radiography for volcanoes study

High resolution imaging in the inhomogeneous crust with cosmic-ray muon radiography: The density structure below the volcanic crater floor of Mt. Asama, Japan

Hiroyuki K.M. Tanaka ^{a,b,c,*}, Toshiyuki Nakano ^d, Satoru Takahashi ^d, Jyunya Yoshida ^d, Minoru Takeo ^a, Jun Oikawa ^a, Takao Ohminato ^a, Yosuke Aoki ^a, Etsuro Koyama ^a, Hiroshi Tsuji ^a, Kimio Niwa ^d

^a Earthquake Research Institute (ERI), University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-0032, Japan

^b Atomic Physics Laboratory, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

^c Physics Department, University of California, Riverside, CA 92521, USA

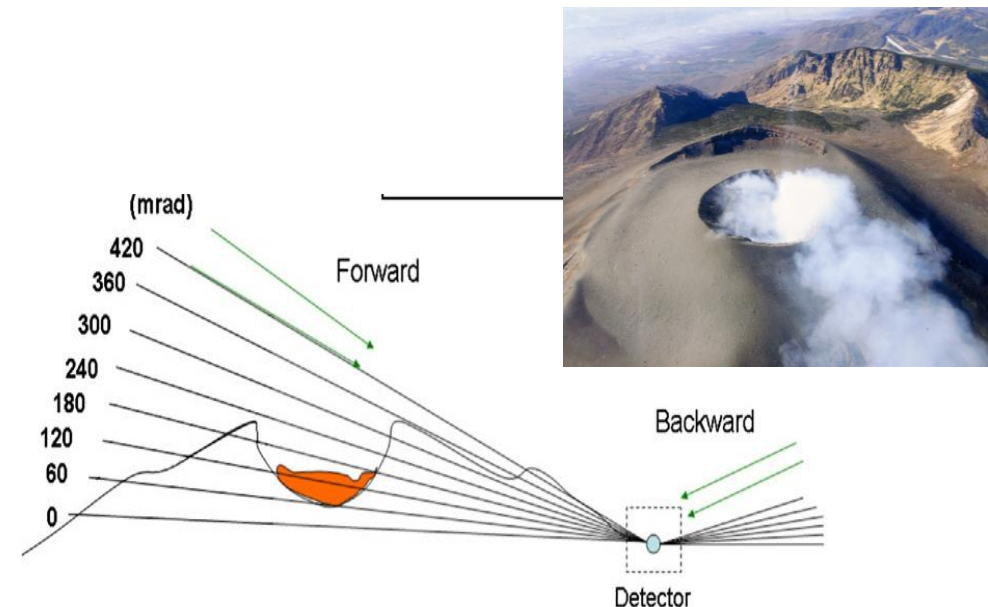
^d Physics Department, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya, Aichi 464-8602, Japan

Received 7 May 2007; received in revised form 3 September 2007; accepted 3 September 2007

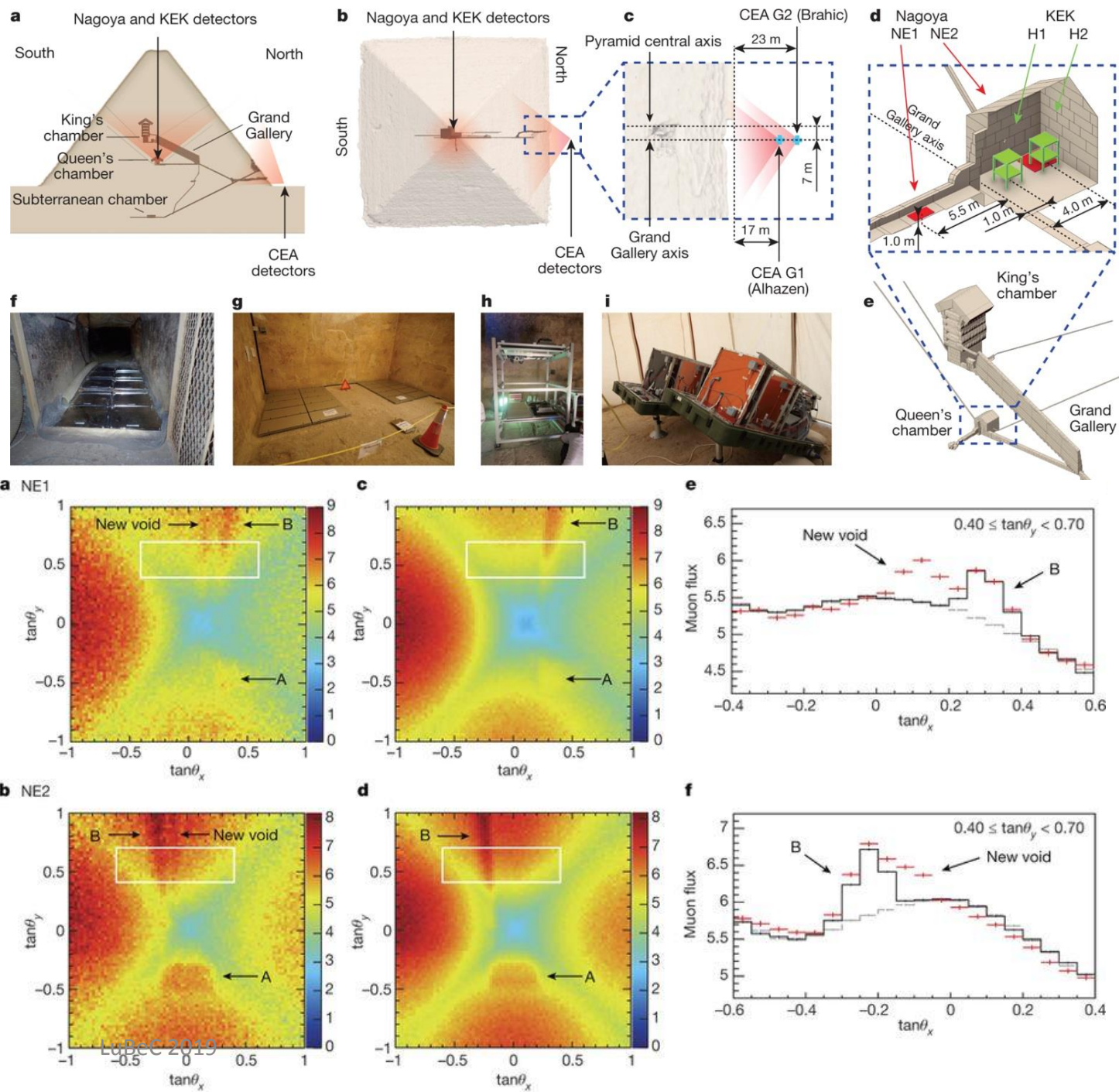
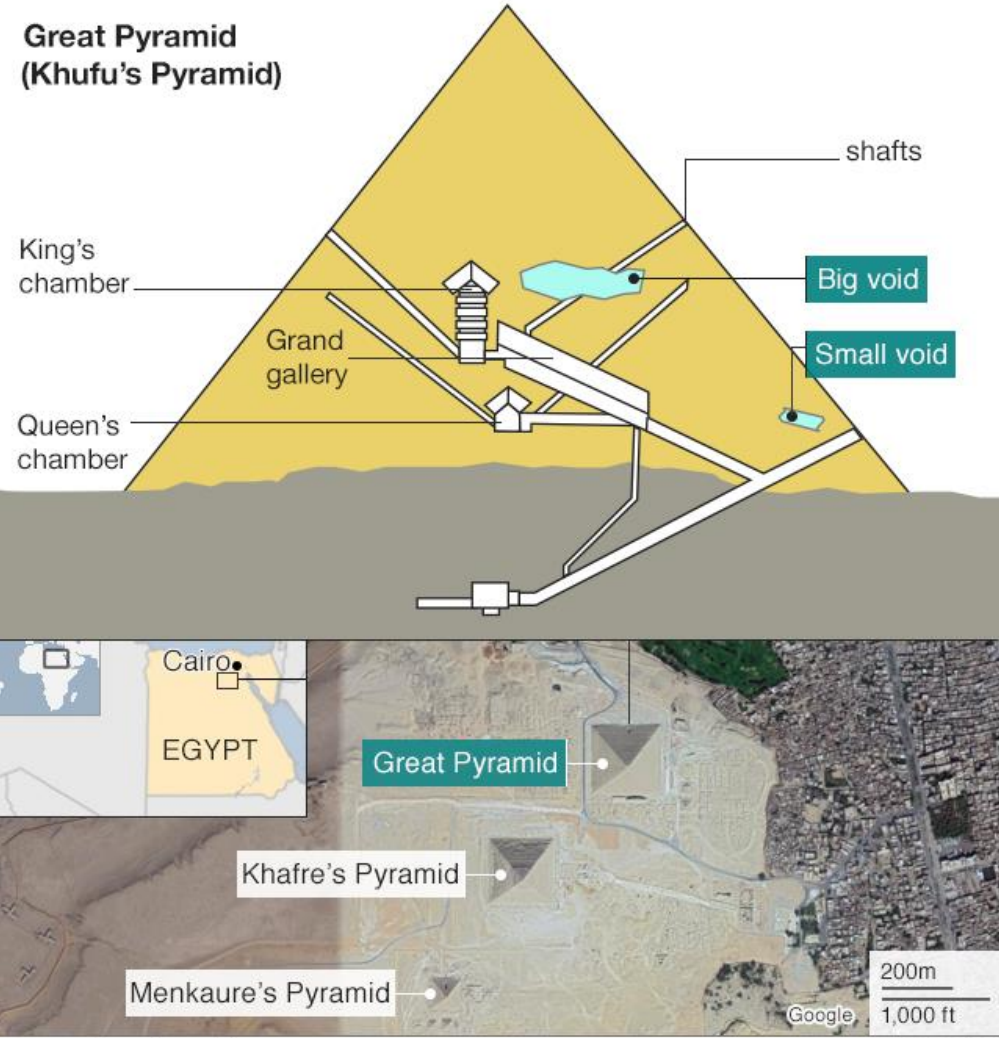
Available online 8 September 2007

Editor: C.P. Jaupart

Earth and Planetary Science Letters 263 (2007) 104–113



2017: The hidden void in Great Pyramid was found by the emulsion detector!



2018

Necropoli ellinistica di Neapolis



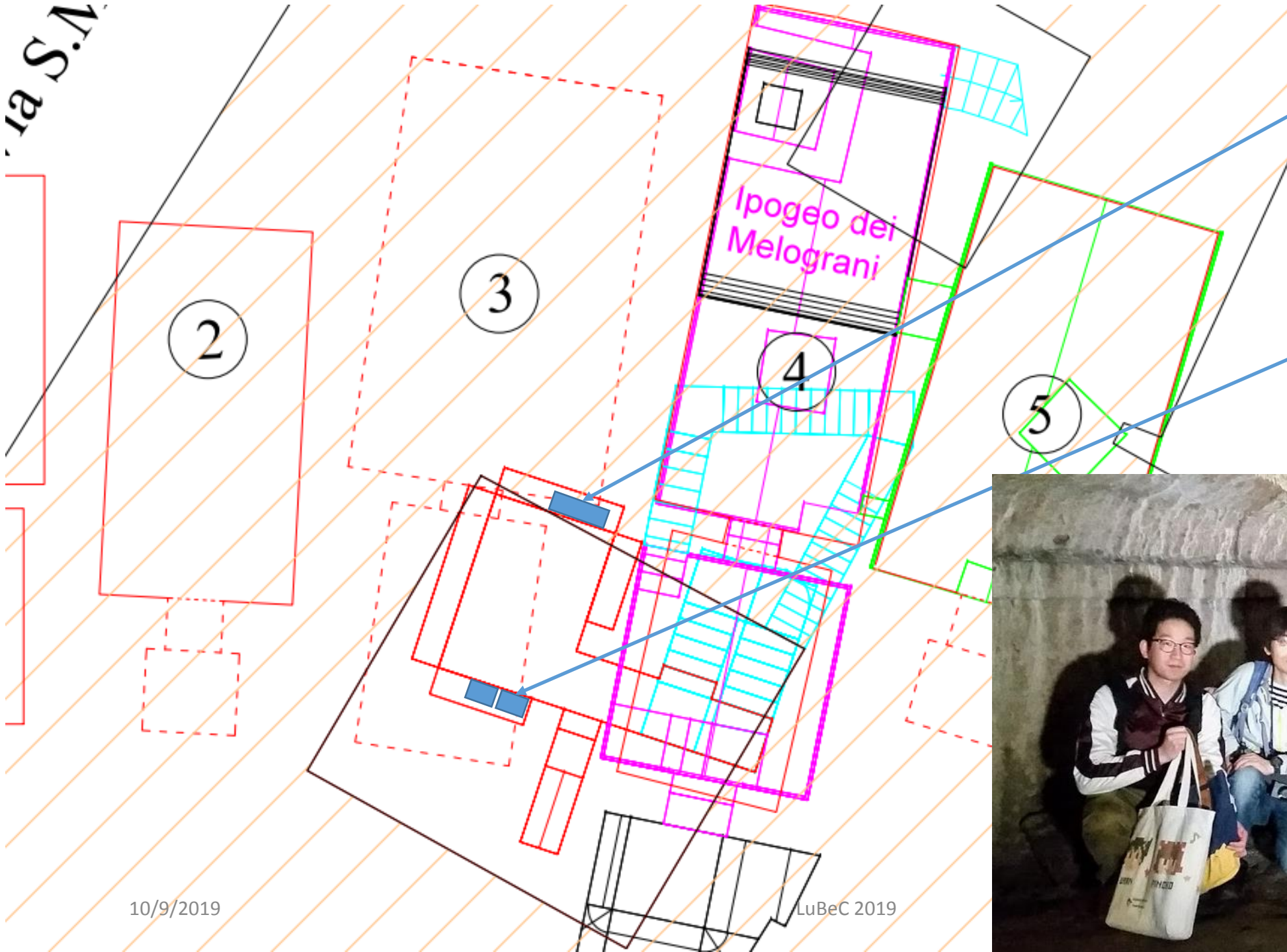
www.celanapoli.it VISITE SU PRENOTAZIONE



*Notizie del bello dell'antico e del curioso della città
di Napoli - Carlo Celano - Napoli 1692*


CELANAPOLI
Via Santa Maria Antesaecula, 129
80137 NAPOLI
info: 347 559.72.31
celanapoli@libero.it
www.celanapoli.it





Emulsion detectors for Muography: Ipogei 2018



The street surface now

The street surface
IV sec B.C.

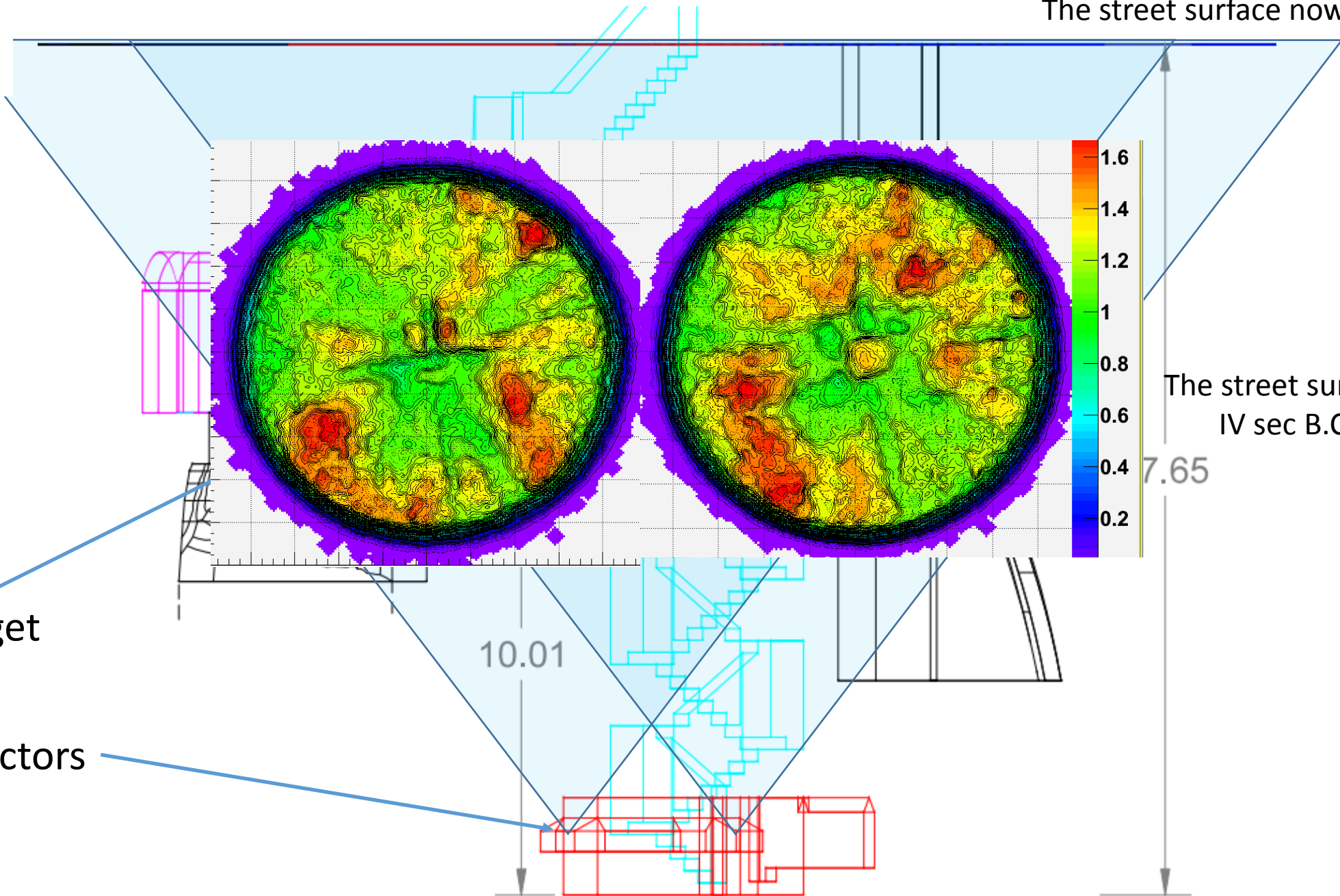
Underground levels

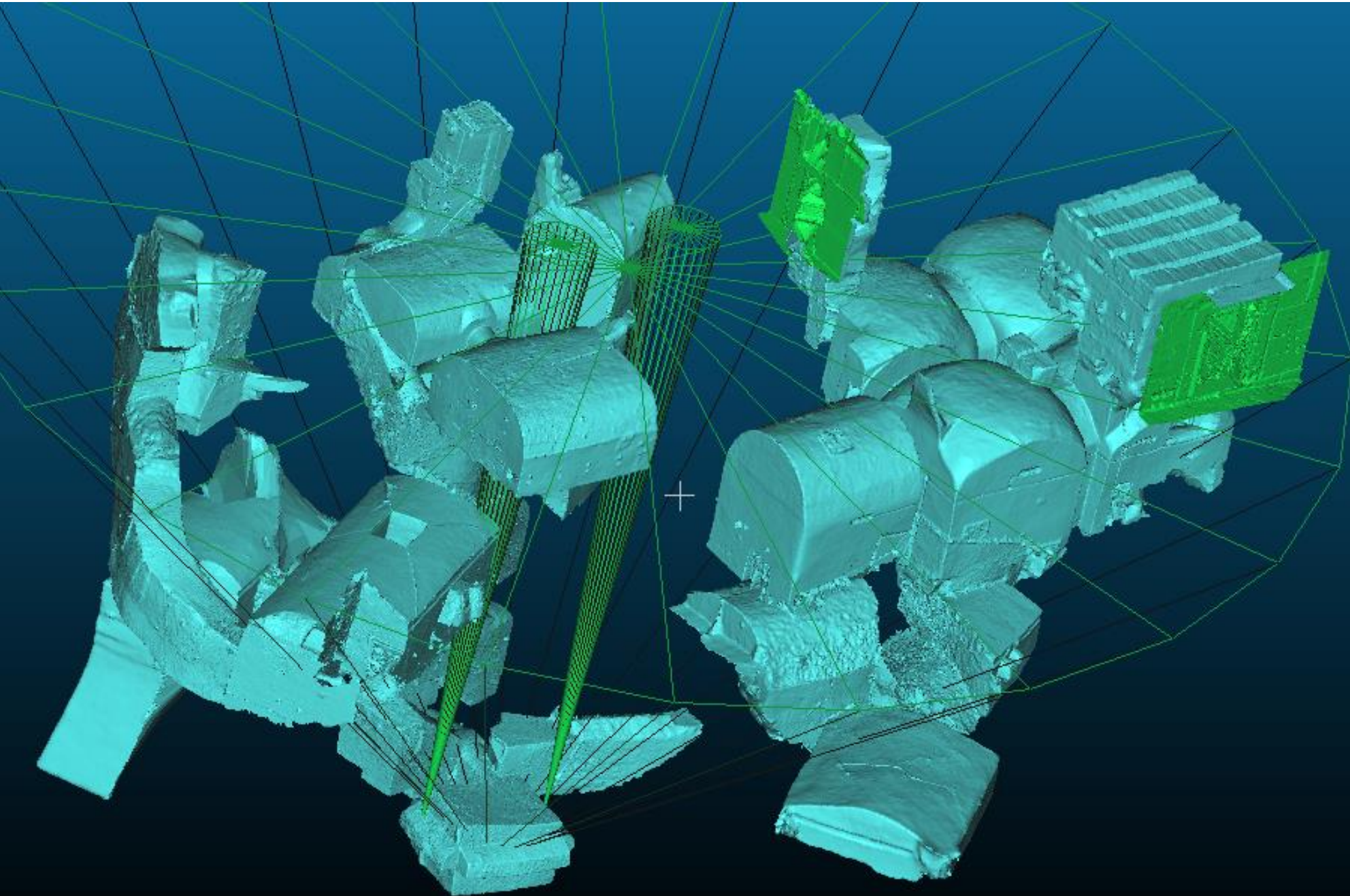
Target

Detectors

10/9/2019

LuBeC 2019





10/9/2019

LuBeC 2019

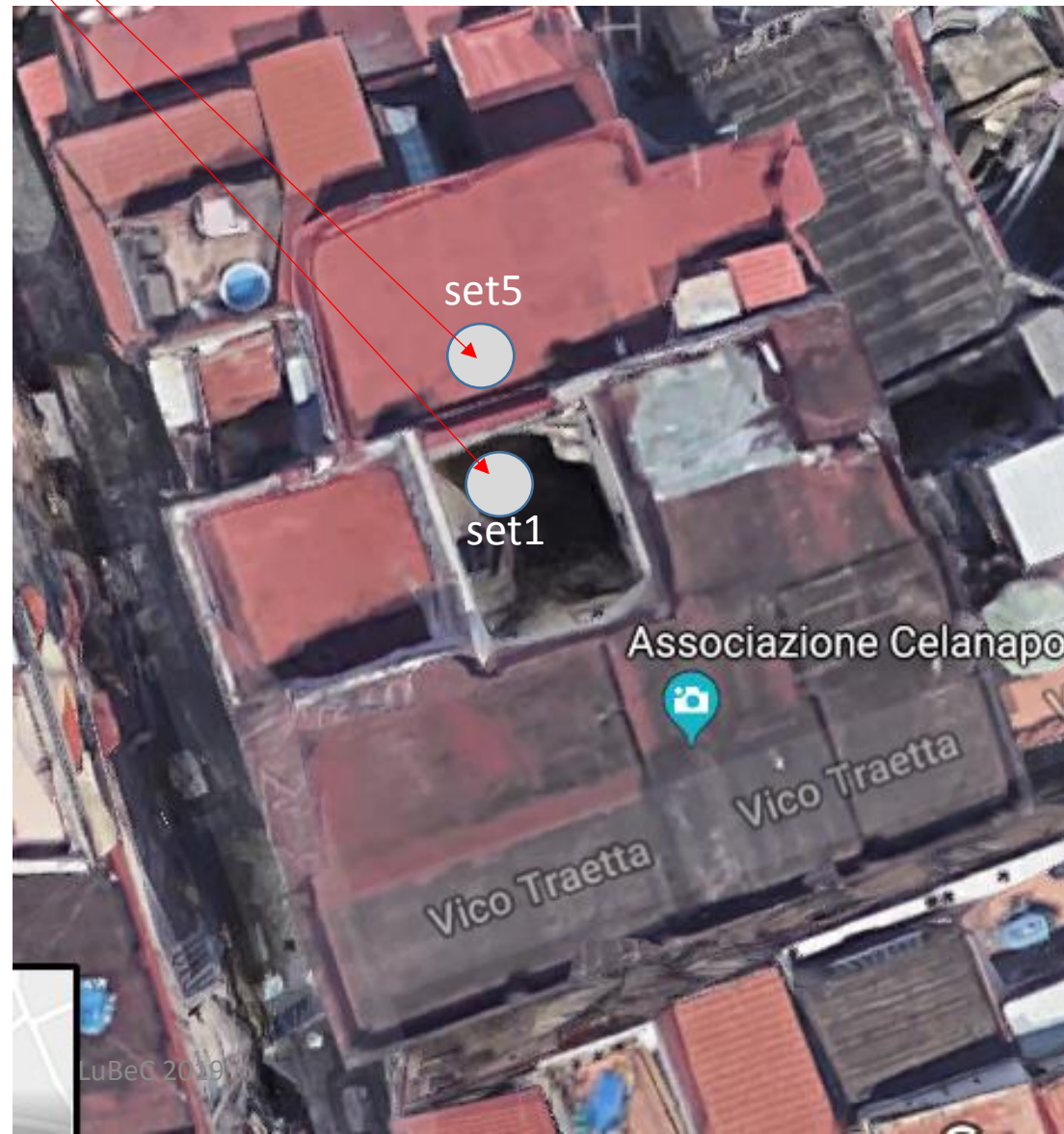
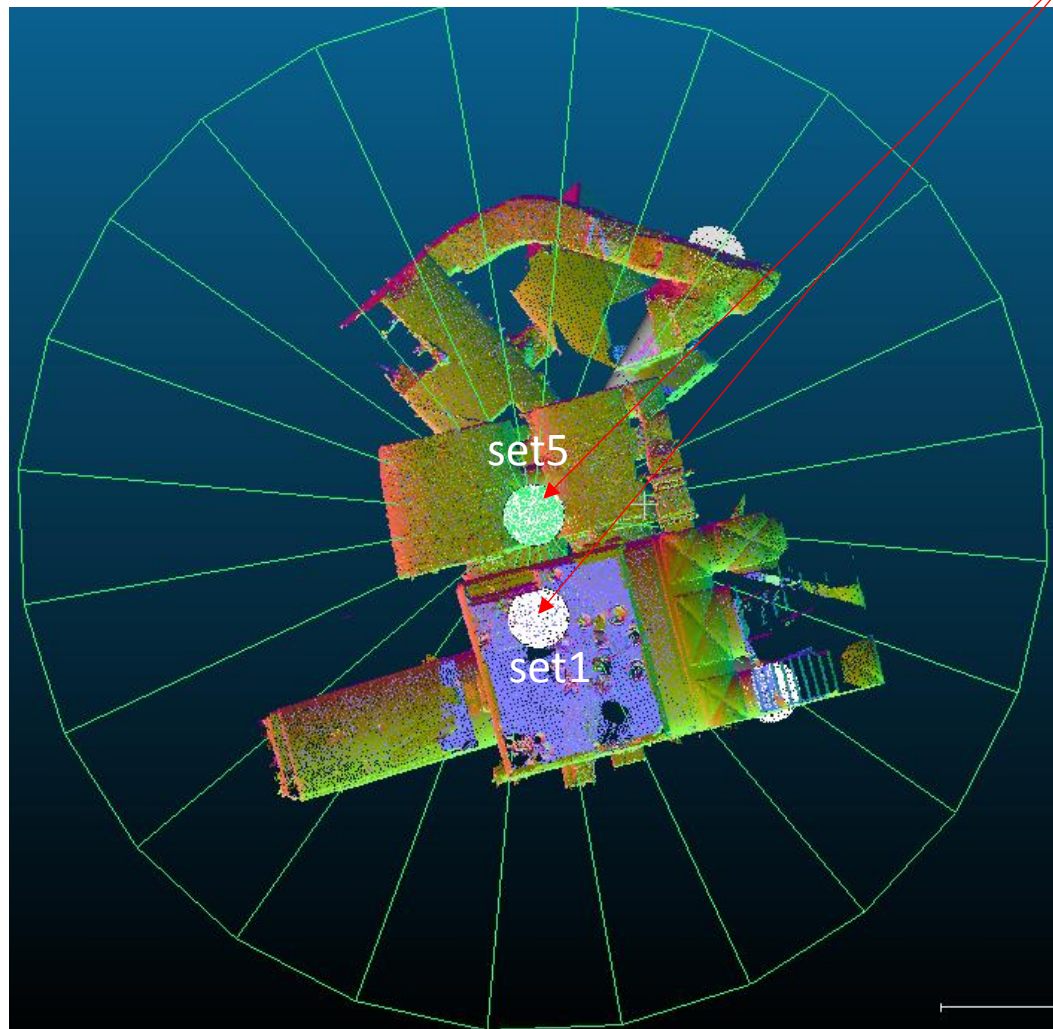


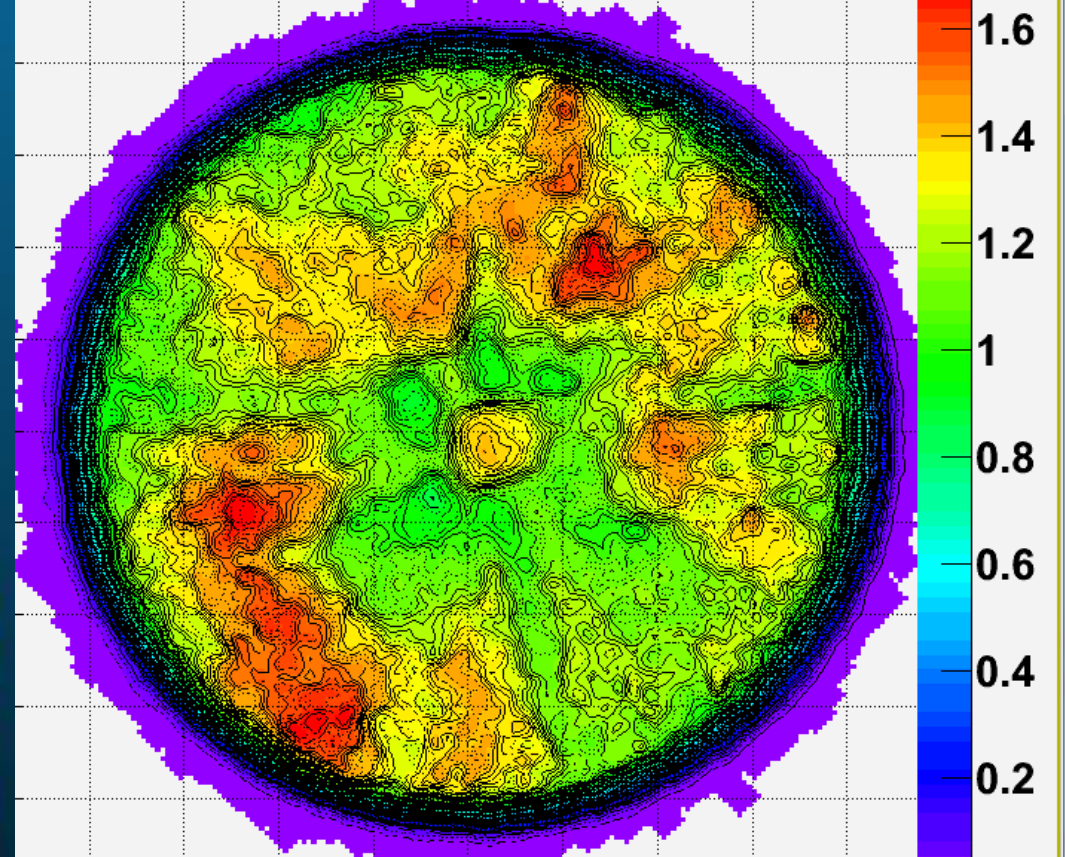
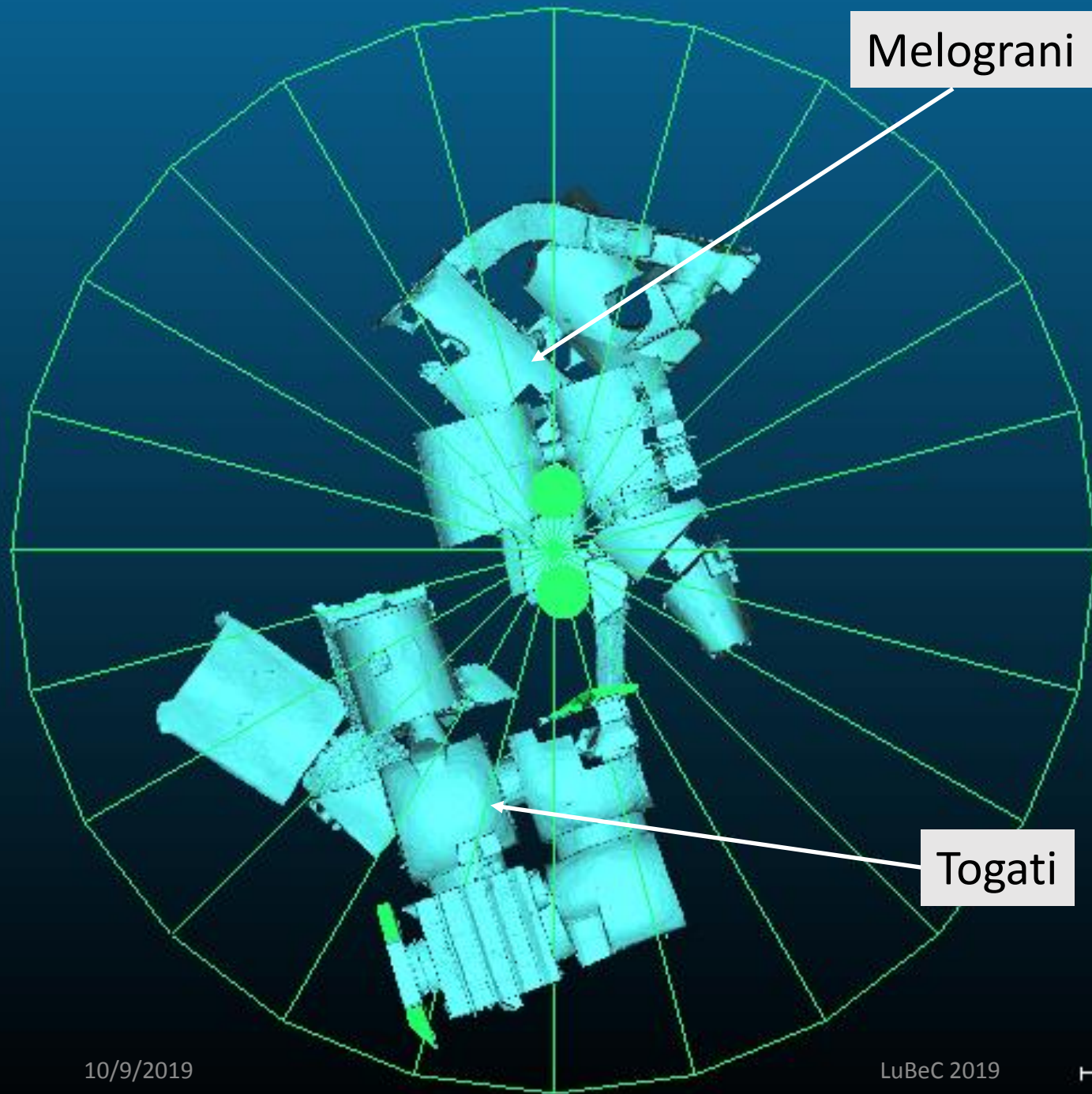
ACAS 3D

3D cloud

Detector positions

Google





10/9/2019

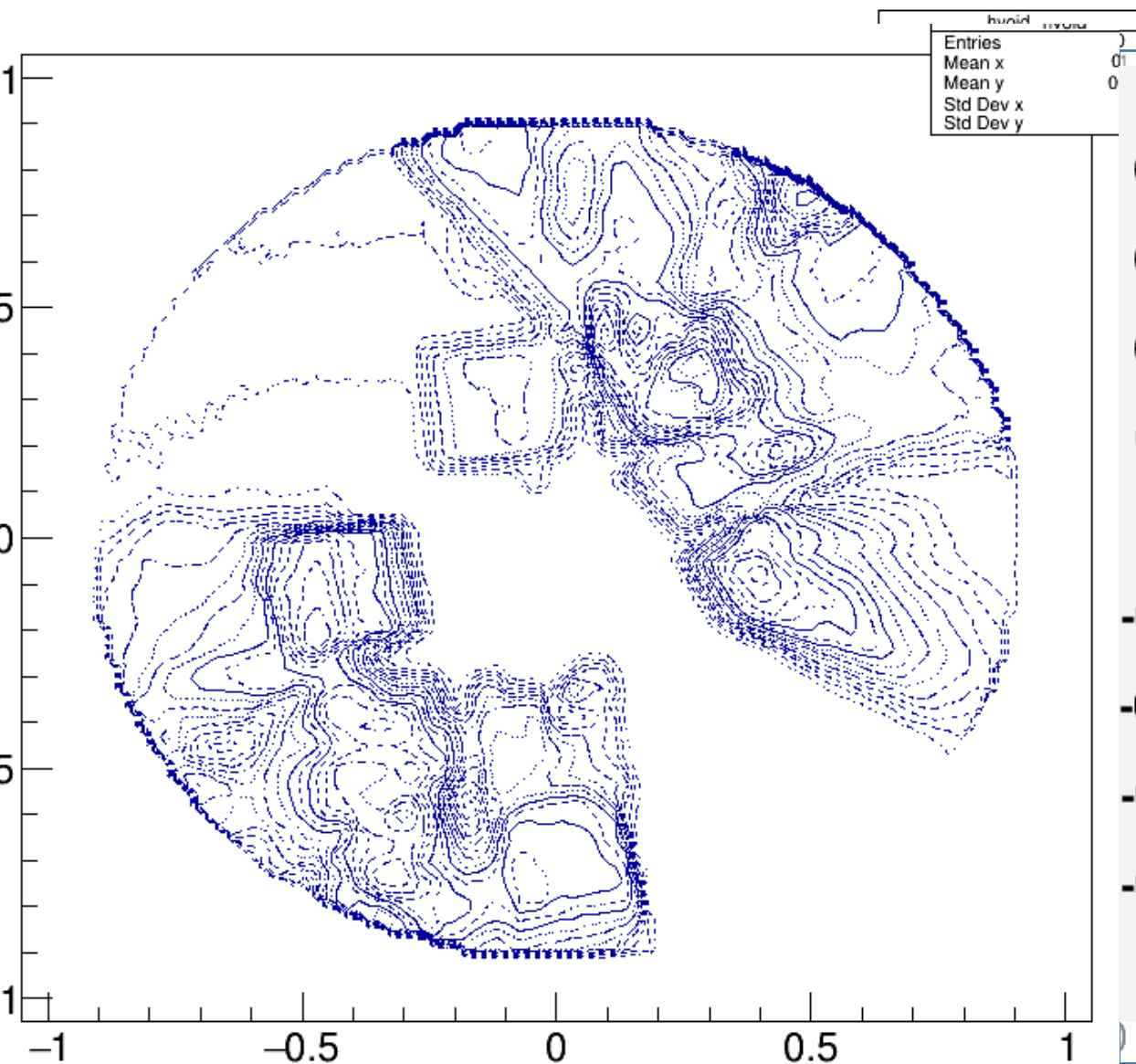
LuBeC 2019

15

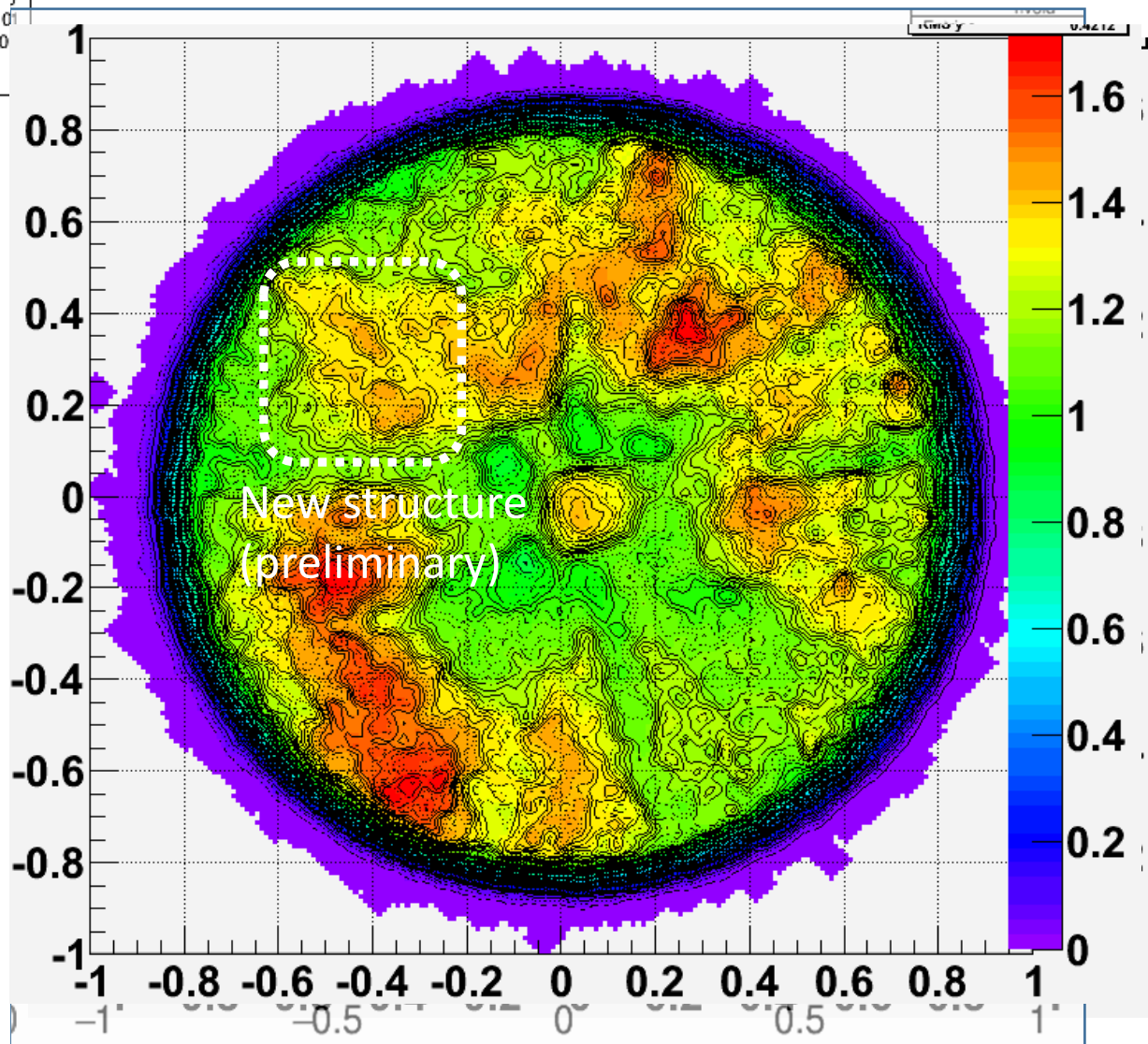


ACAS 3D

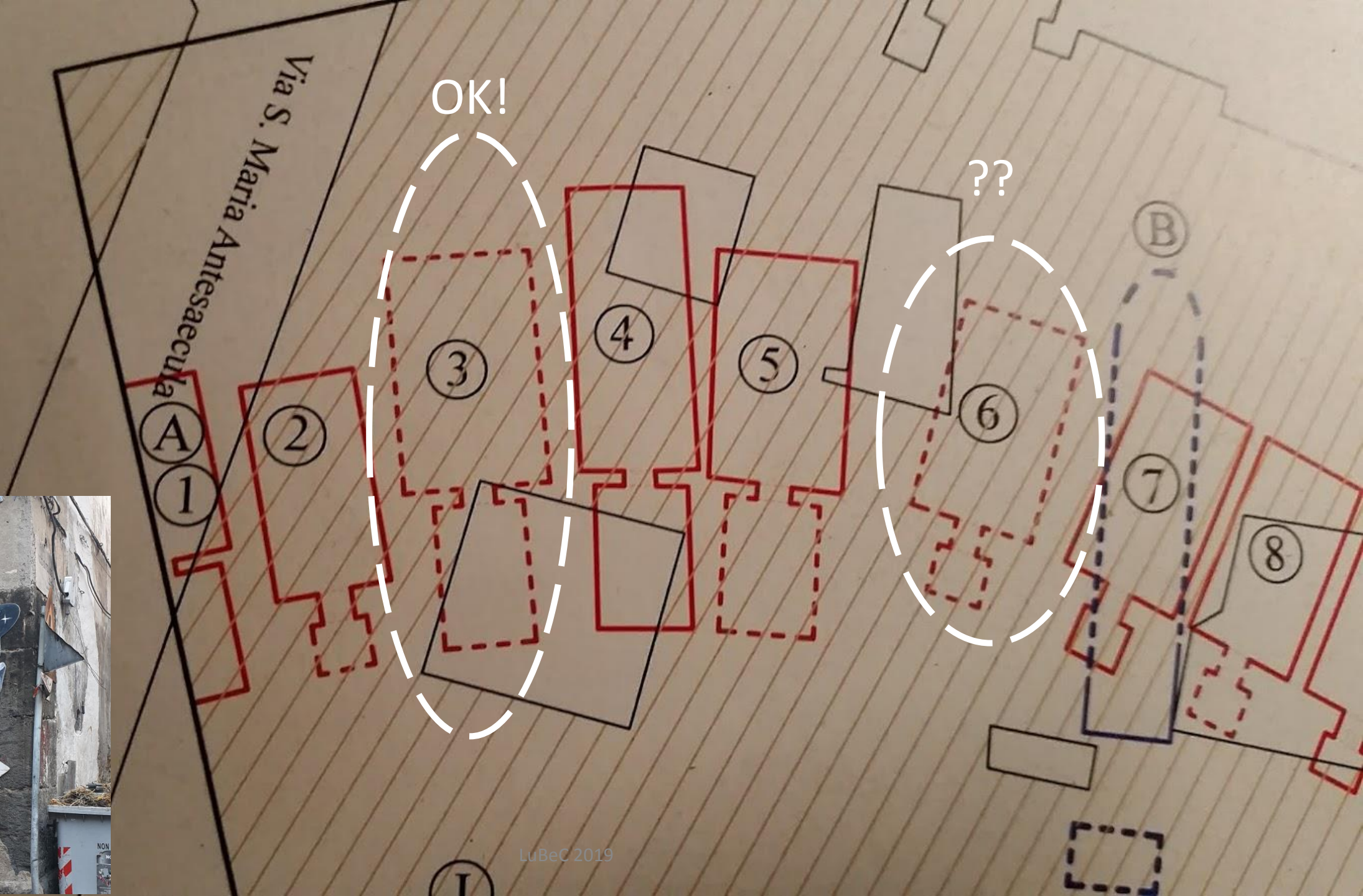
The cavities thickness calculated using 3D survey



Normalized muon flux in the detector (data)

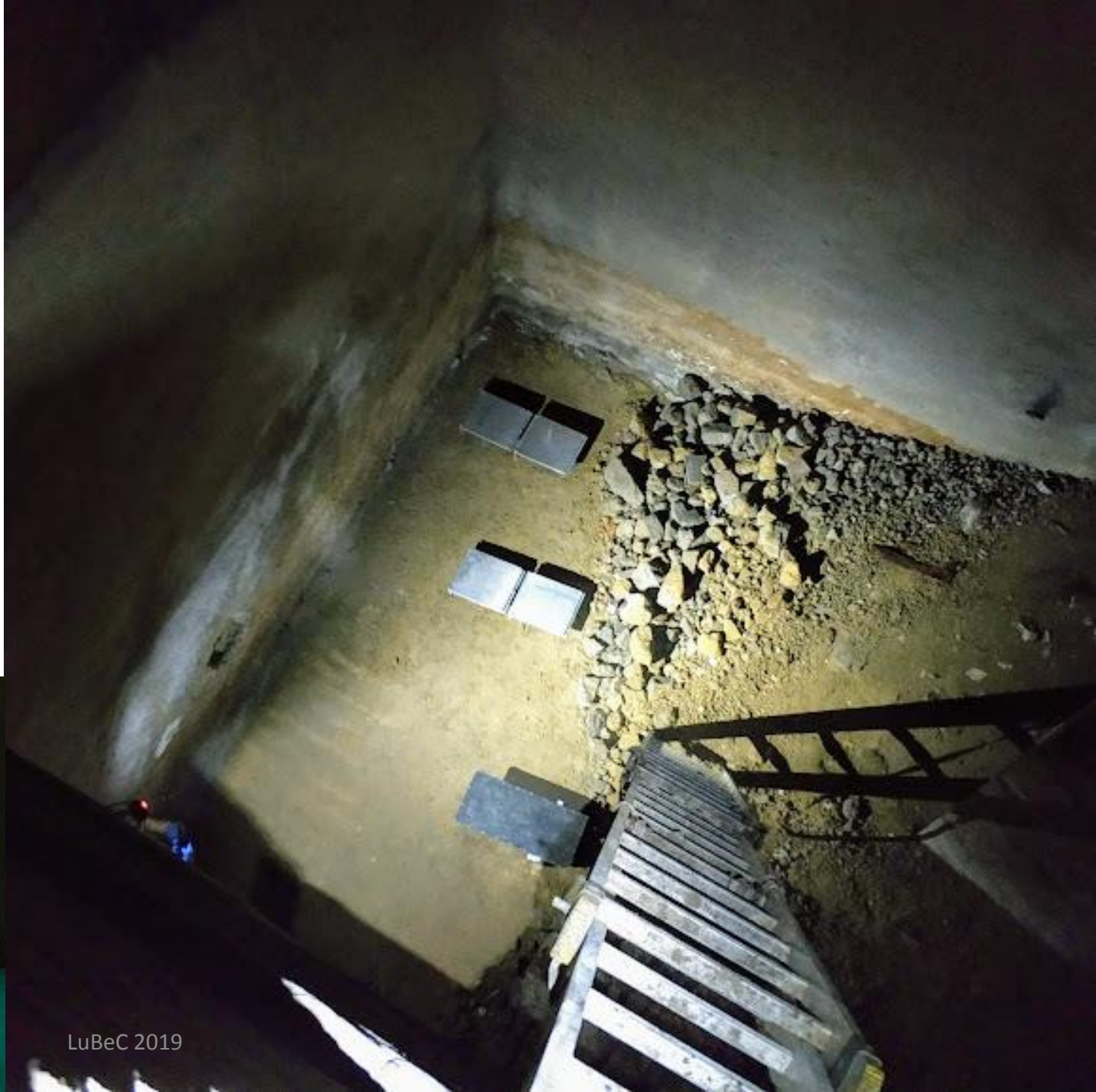


The study is ongoing – more positions will be added to obtain a 3-d reconstruction of the hidden volume



New installation to reveal the crypt 6 30/09/2019

3 detectors were installed with a total
sensitive surface of 0.2 m^2



- **Availability of the appropriate 3D digital model of the site is essential for the correct Muography interpretation**
- **Taking several views we can try the data inversion to obtain 3D tomography of hidden structures!**



Roma, 3D e beni culturali