

Prospettive di applicazioni industriali sulla Tomografia Muonica

Attività gruppi Napoli e Firenze

Giulio Saracino

Università di Napoli *Federico II*

e

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

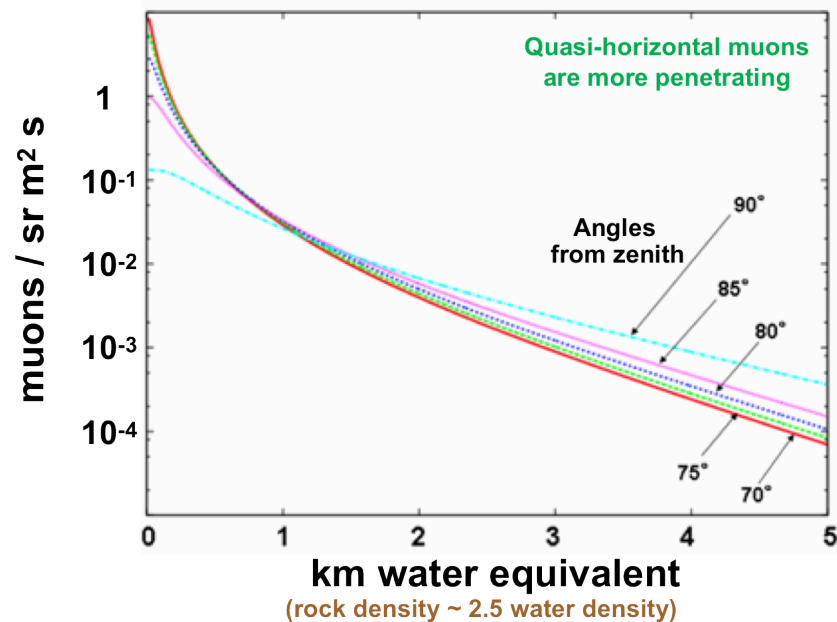
Padova 23 novembre 2017

Sommario

- Radiografia per attenuazione del flusso
- Lo studio dei vulcani
- Studio delle cavità per la sicurezza del territorio
- Applicazioni Archeologiche
- Applicazioni al rivelamento scorie radioattive

Radiografia muonica per attenuazione del flusso

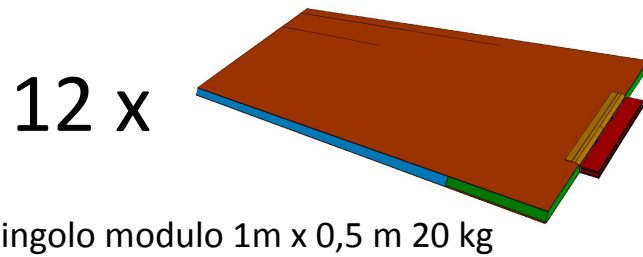
- Si basa sull'attenuazione del flusso che dipende dallo spessore e dalla densità di materia attraversata.
- Utilizza un solo tracciatore a valle dell'oggetto da investigare



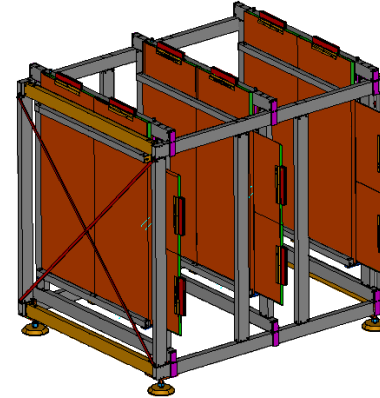
Lo studio dei Vulcani

- Progetti MU-RAY e MU-RAY2: INFN Firenze e Napoli gruppo V 2009-2012 (P. Strolin, G. Saracino)
- Rivelatore elettronico dedicato alle applicazioni vulcaniche
 - Consumi elettrici limitati
 - Robusto
 - Trasportabile
 - Buona risoluzione angolare

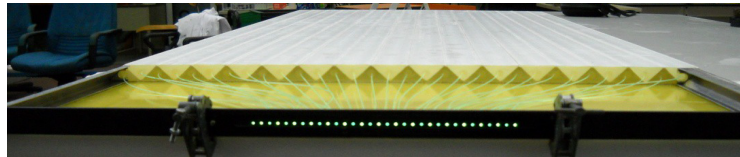
MU-RAY



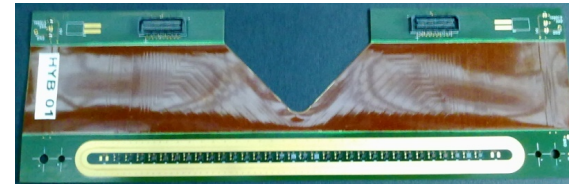
=



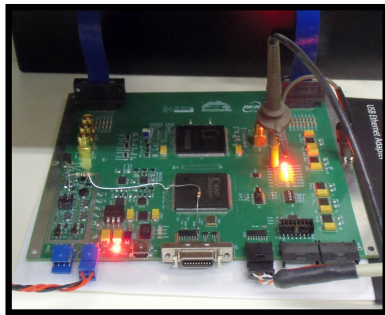
Tracciatore 3 piani X-Y 1mq



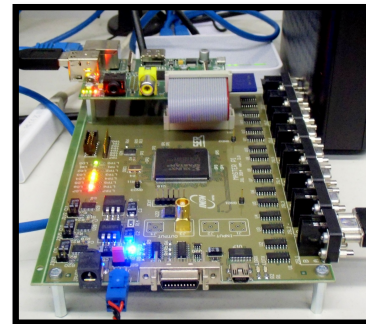
32 Scintillatori plastici + WLS 2-3 mm risoluzione



PCB 32 SiPM termostabili



Elettronica front end
ASIC EASIROC (OMEGA)
FPGA
HV on board
32 Ch
3W consumo



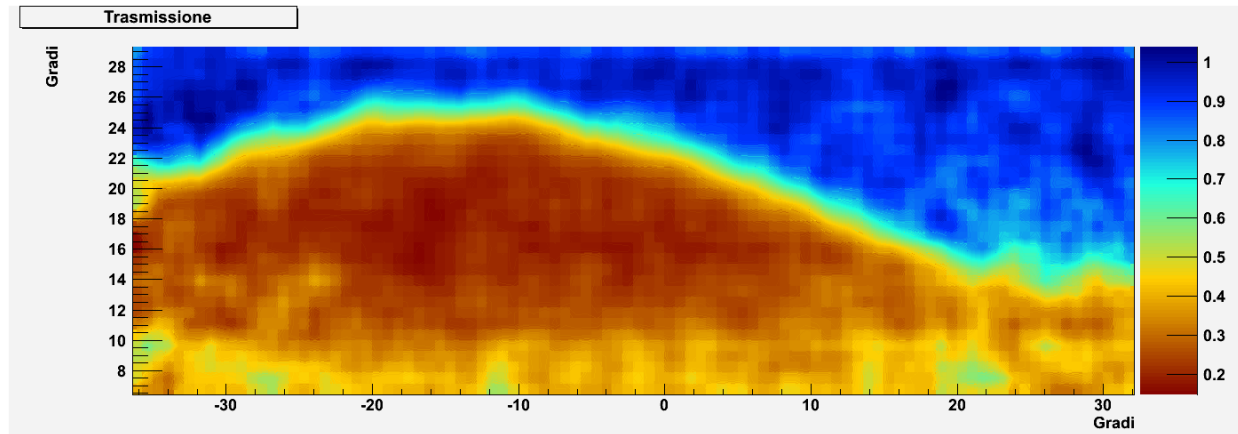
DAQ board
FPGA +
Raspberri-Pi
Sino 32 schede

MU-RAY prime misure prototipo

- Vesuvio (tecnica)
- Misure al Puy de Dôme (TOMUVOL IN2P3 Clermont Ferrand)



MU-RAY@Vesuvio

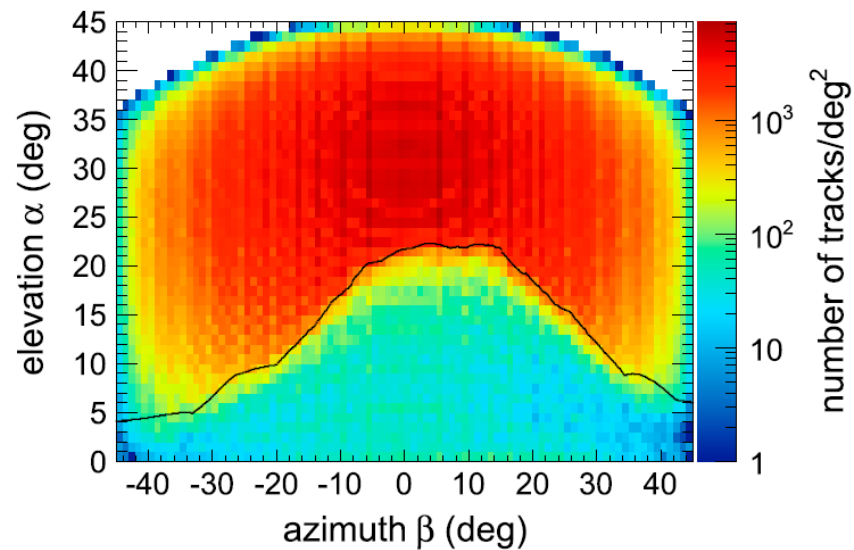


Breve presa dati dimostrativa; visibile solo «l'ombra del Vesuvio», non la struttura interna

MU-RAY @ Puy de Dôme

- Presa dati congiunta con TOMUVOL (IN2P3 Clermond Ferrand)
- Prima misura del flusso (= fondo...) oltre 1000 m di roccia

- 105 giorni di presa dati
- condizioni stabili



F. Ambrosino et al.
Journal of geophysical research, solid earth
Volume 120, Issue 11 (2015)

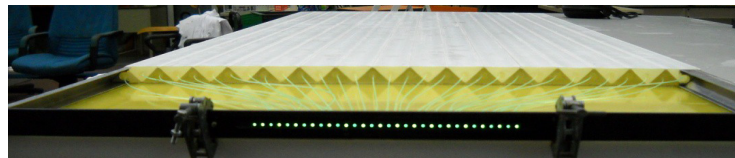
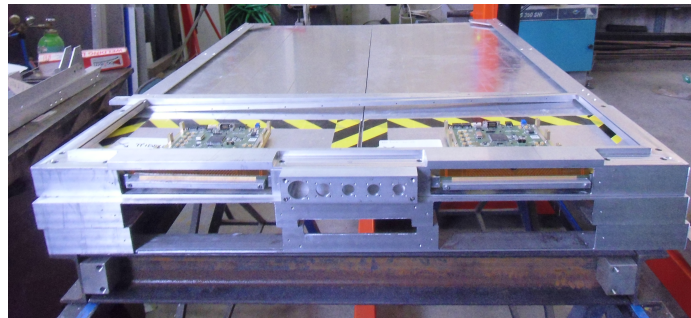
MURAVES

MUon Radiography of VESUVIUS

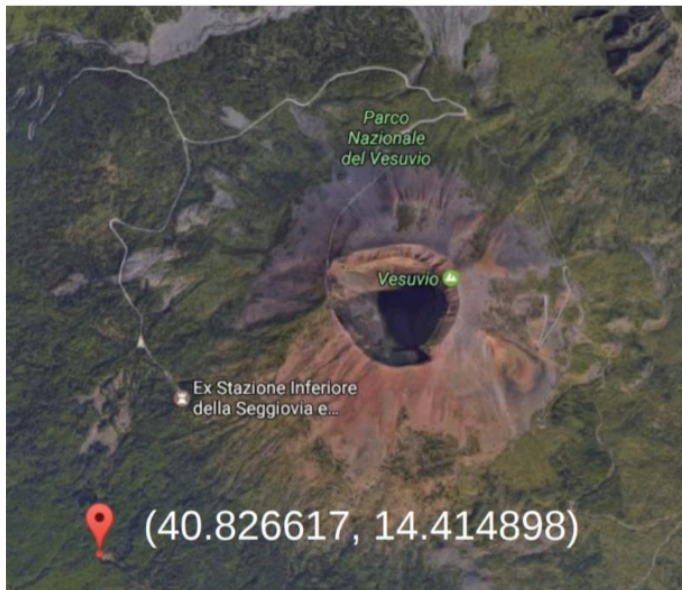
"progetto premiale " MIUR

INGV-INFN

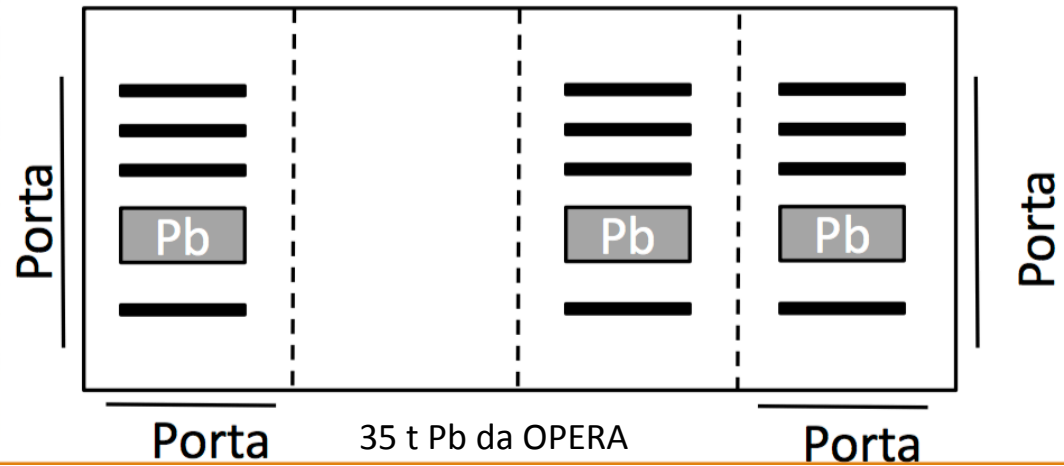
24 mq di scintillatori (3 tracciatori 4 piani X-Y) 1536 SiPm



MURAVES

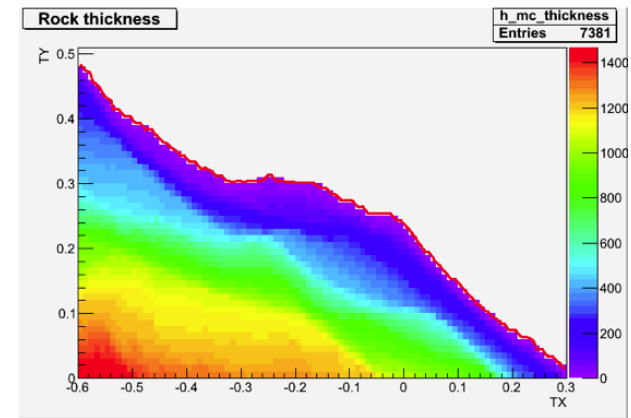
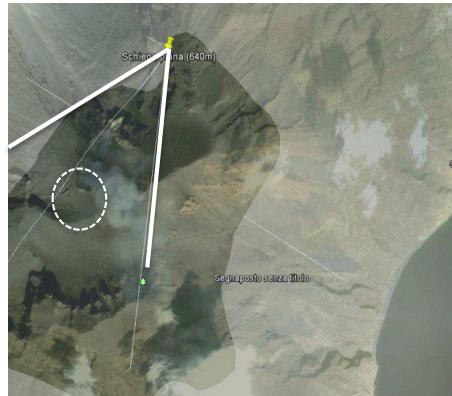
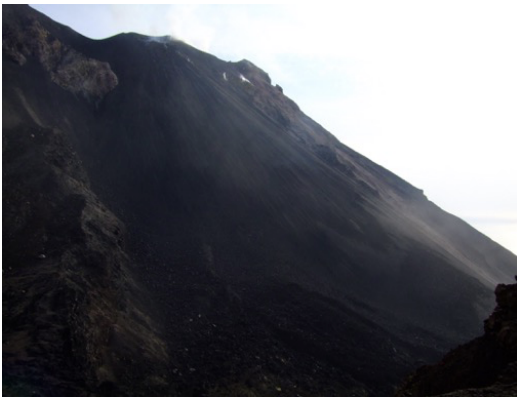


Container

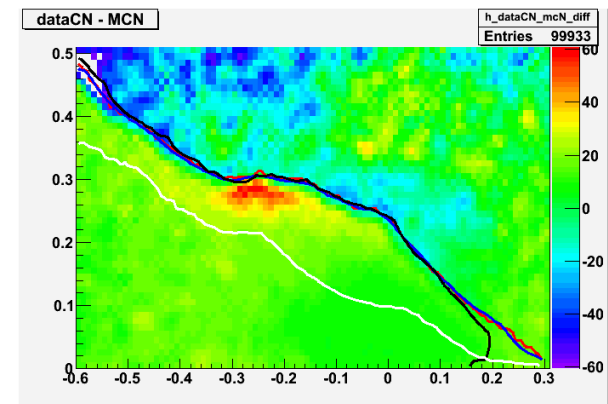


Emulsioni@Stromboli

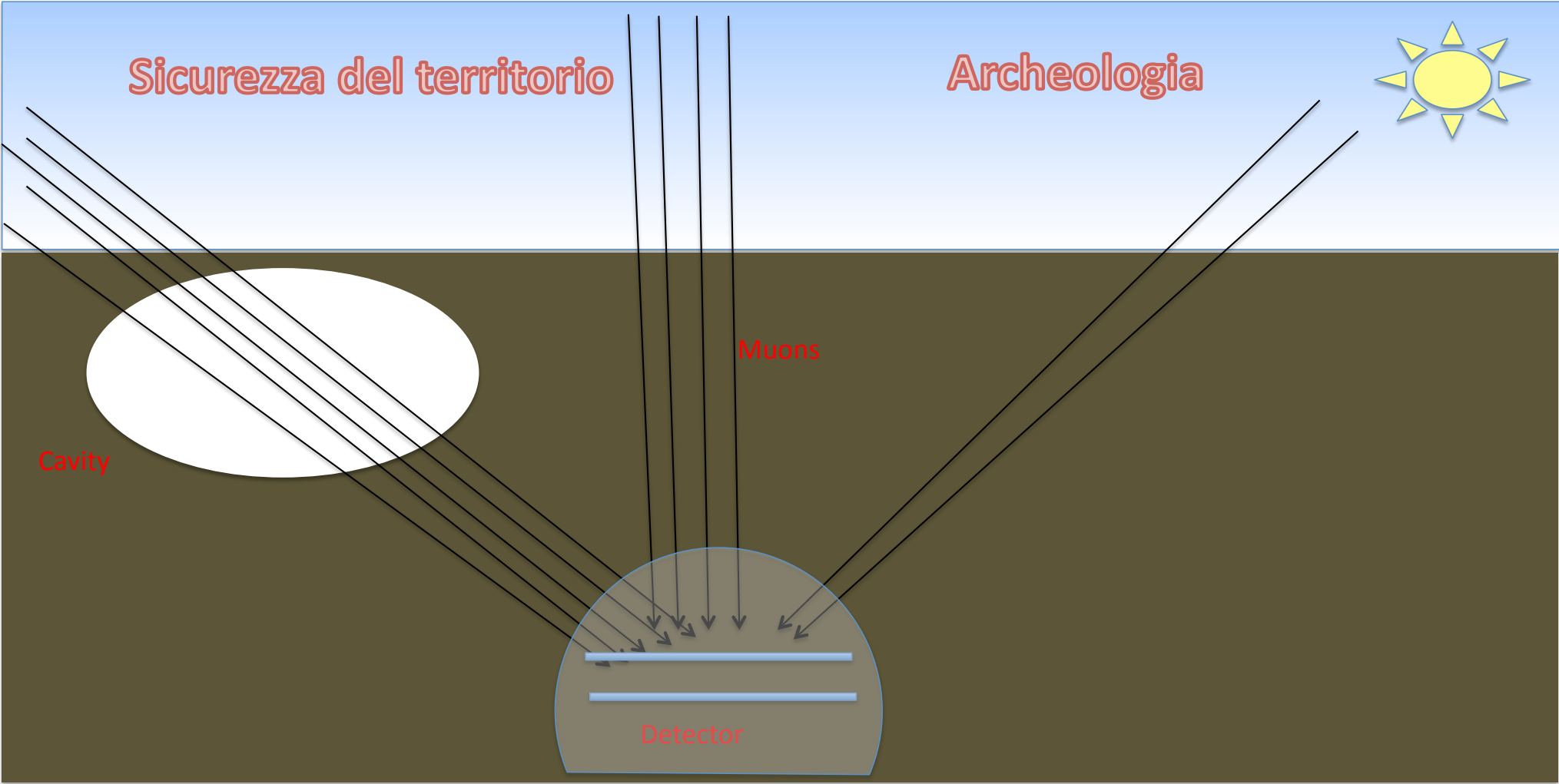
(Tiukov-De Lellis)



Rivelatore a 640 m slm,
circa 600 m di distanza
dai crateri (quota 750 m)



Radiografia Muonica per le prospezioni del sottosuolo



Il distretto tecnologico STRESS e TECNOIN SPA

STRESS: DISTRETTO AD ALTA TECNOLOGIA PER LE COSTRUZIONI SOSTENIBILI
S.C.a R.L. senza fini di lucro con soci pubblici e privati



Partner Industriale



PROGETTO METROPOLIS (PON)

Metodologie e Tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento
e **La sicurezza di Sistemi urbani**

Sei work packages

- **URBAN SYSTEM KNOWLEDGE**
- DISRUPTION OF URBAN SYSTEM
- PHYSICAL SYSTEM VULNERABILITY
- INTEGRATED HAZARD OF URBAN SYSTEM
- SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEM VULNERABILITY
- STRATEGIES AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE URBAN SYSTEM



METROPOLIS PON 03PE_00093_4

Conoscenza del sistema urbano W.P.

Sperimentazione della radiografia muonica

focus: cavità in contesto urbano

Tre W.P.

Studi di fattibilità

Un dimostratore della tecnica

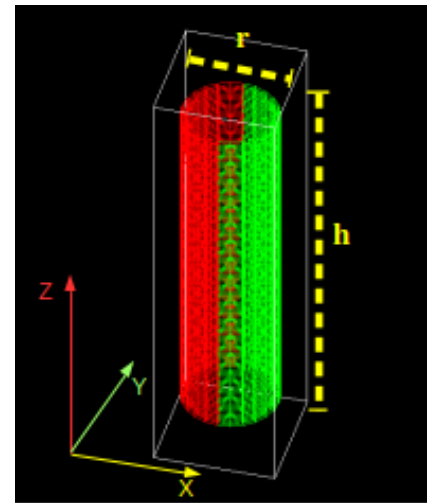
Rivelatore cilindrico da pozzo

INFN consulente

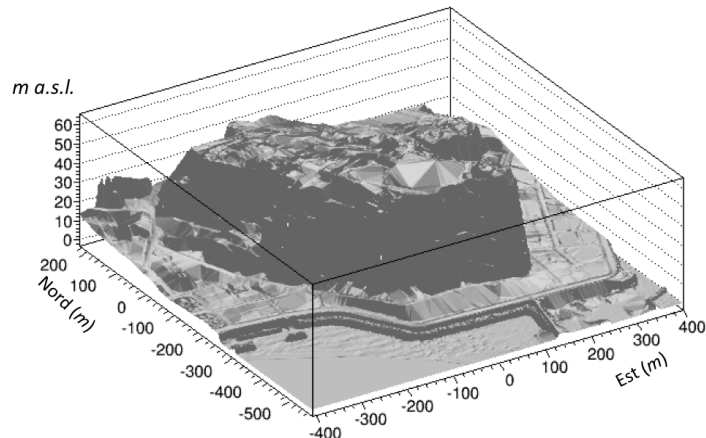
Contratto per prestazione di attività di ricerca in favore di terzi TTA/15NA/003

Studi di fattibilità

Simulazioni GEANT4 su GRIGLIA



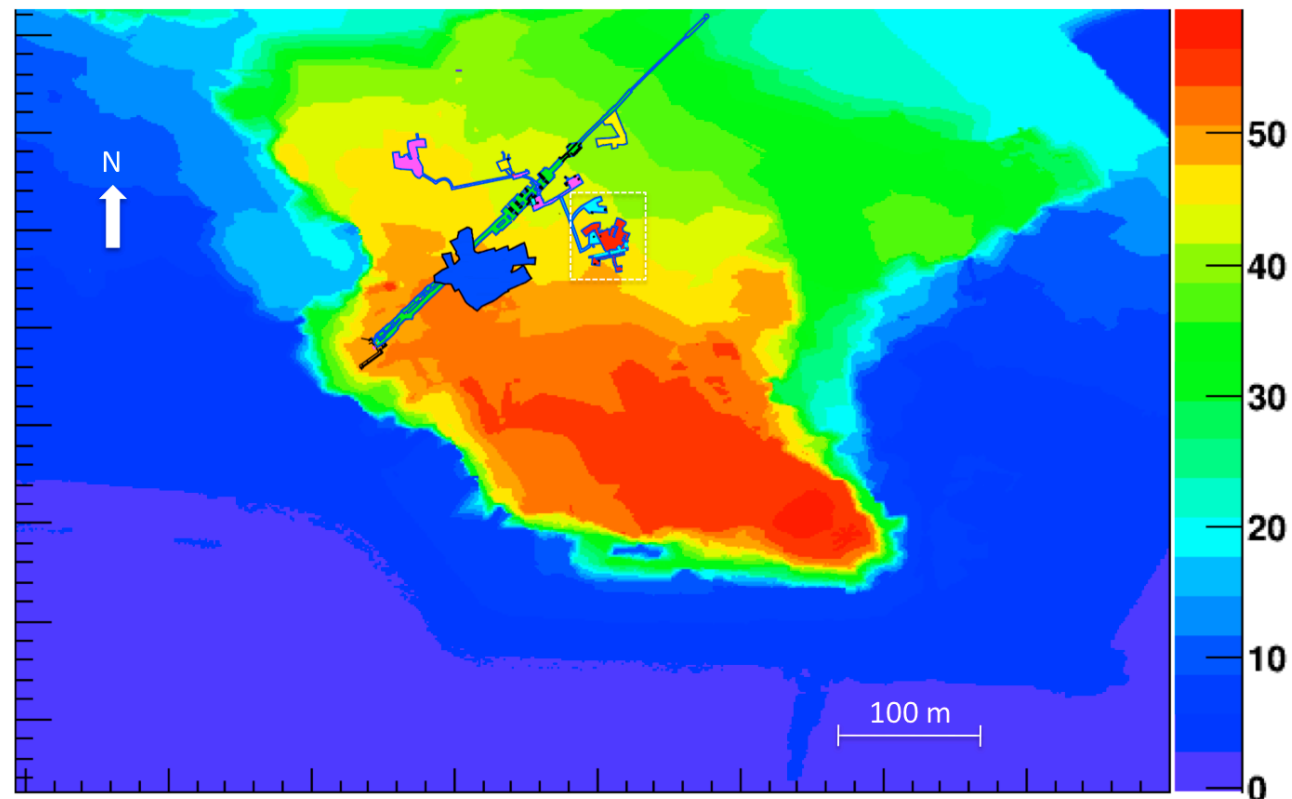
Il dimostratore: MONTE ECHIA



Antica Partenope greca del VII sec. A.C.

Topografia Monte Echia

Numerose cavità sia naturali che di origine antropica, fra cui il cosiddetto Tunnel Borbonico



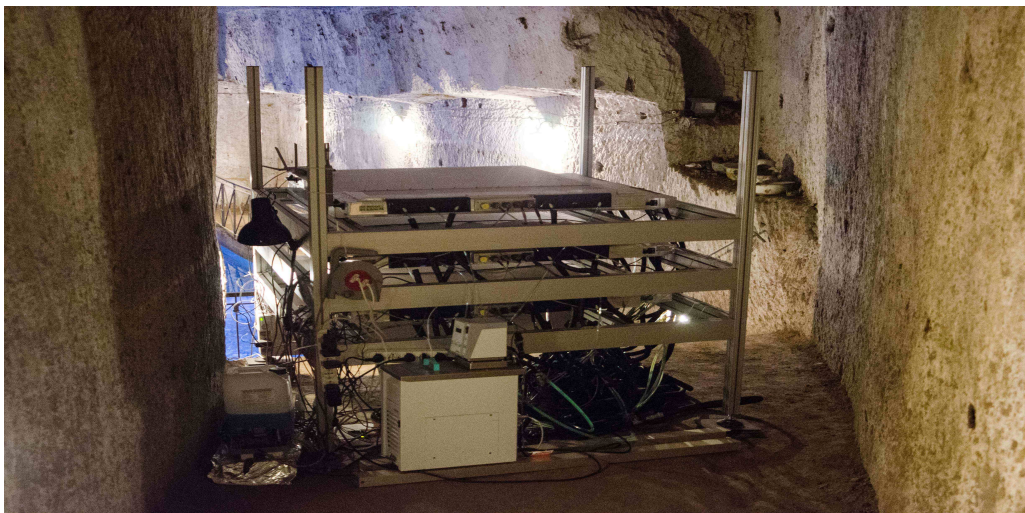
T
H
E

H
O
S
T



GALLERIA[®]
BORBONICA

Il sito di misura



12 m sul livello del mare

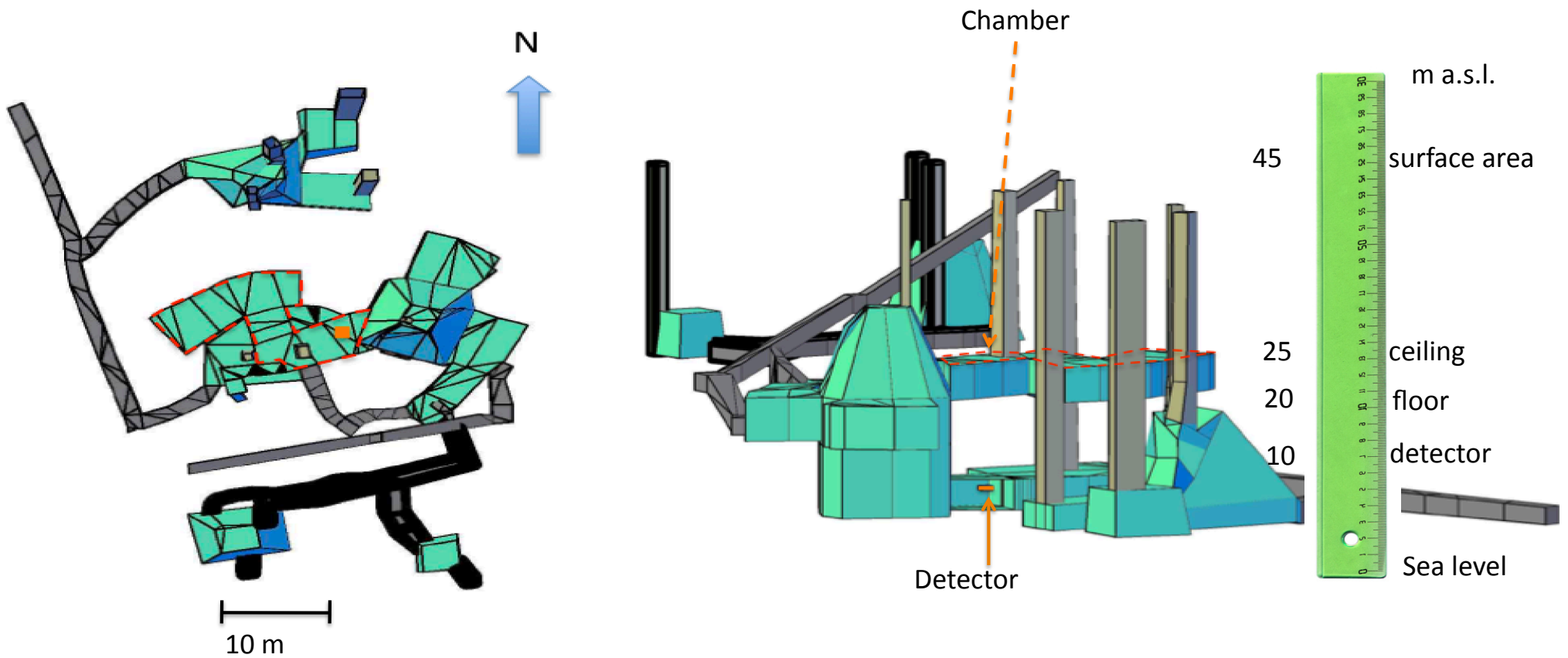
35 m profondità

Cisterna del Palazzo di Serra di Cassano



L'obiettivo

Individuare una stanza nota



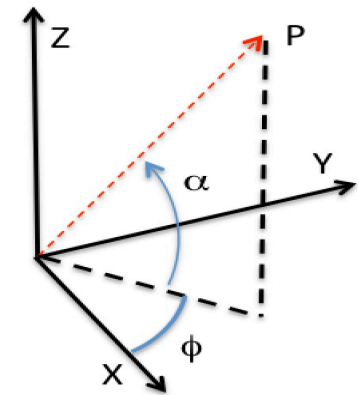
Lo stimatore R

$$R(\rho, \alpha, \phi) = \frac{T^m(\alpha, \phi)}{T(\rho, \alpha, \phi)}$$

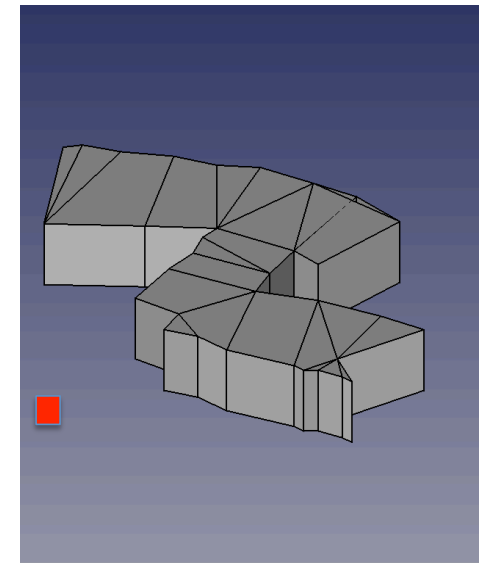
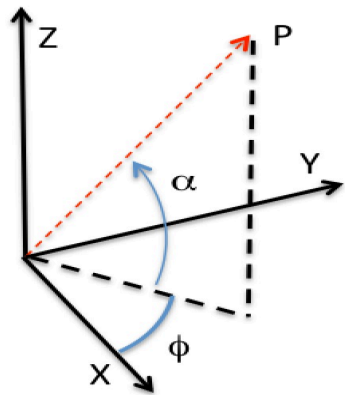
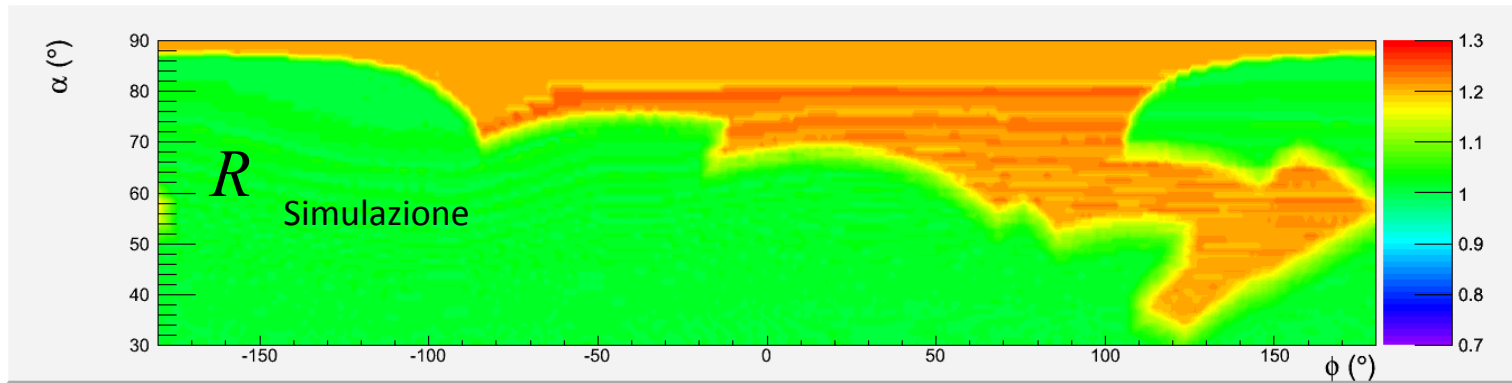
Trasmissione di muoni misurata divisa trasmissione attesa

$R \cong 1$ in assenza di cavità

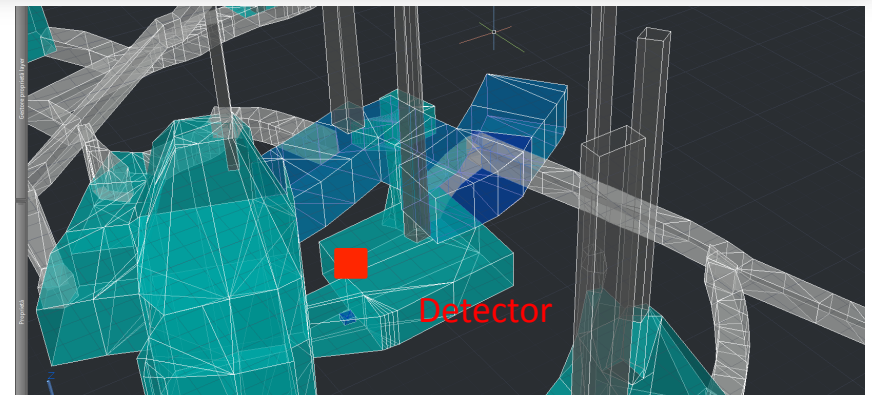
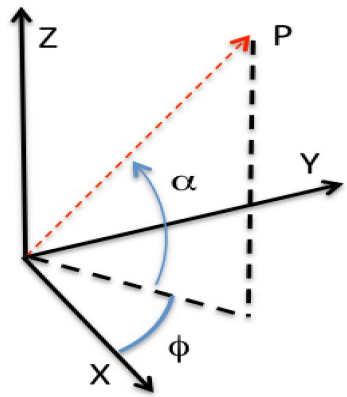
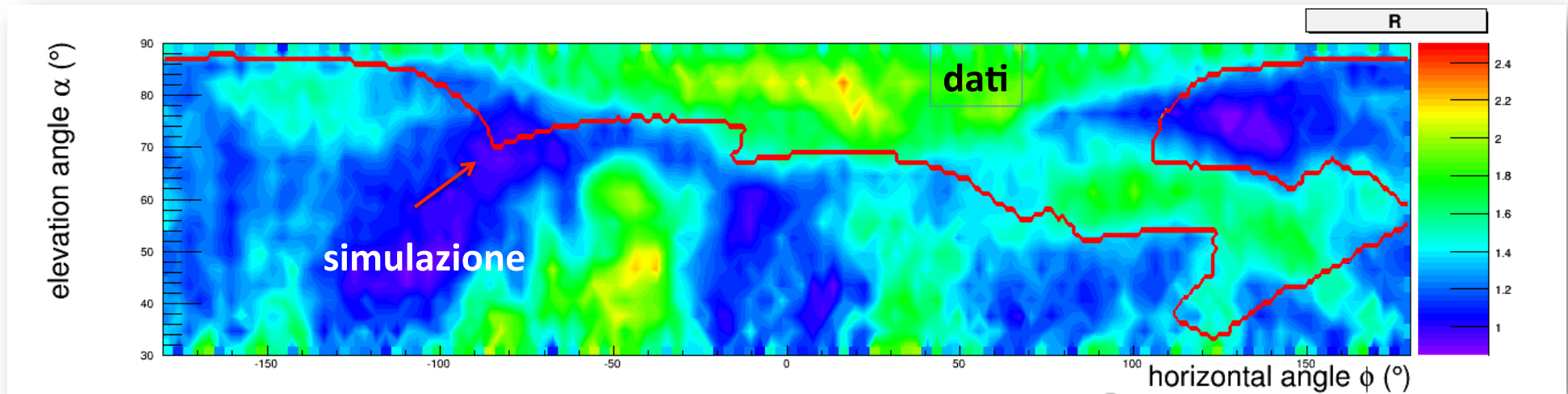
$R > 1$ in presenza di cavità



Segnale atteso per la sola camera di test

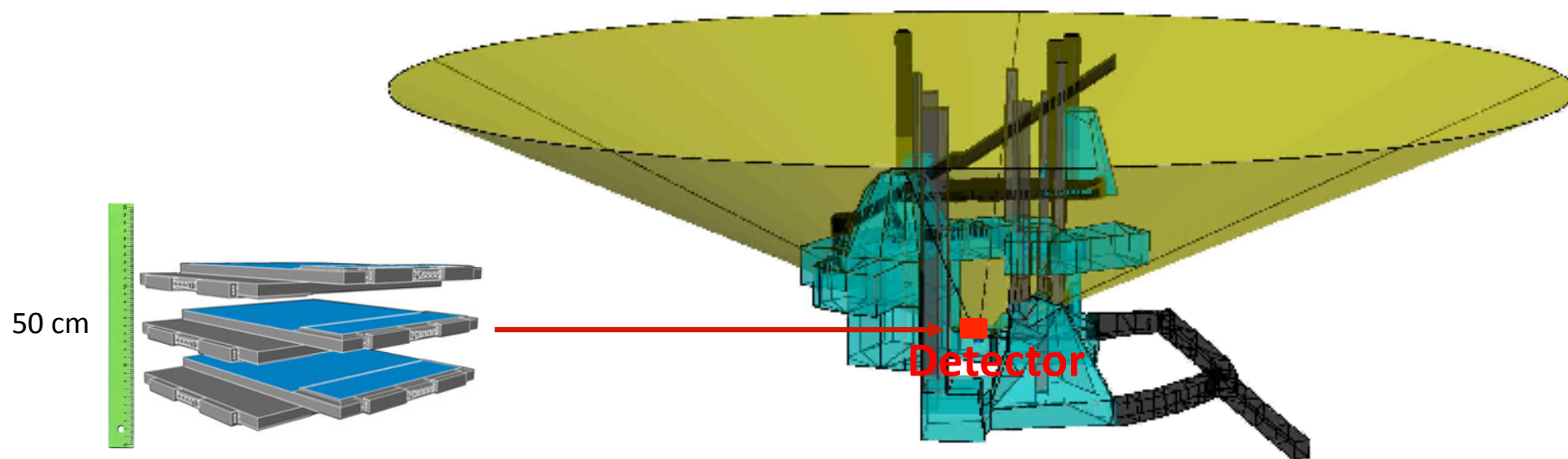


Confronto dati e simulazione

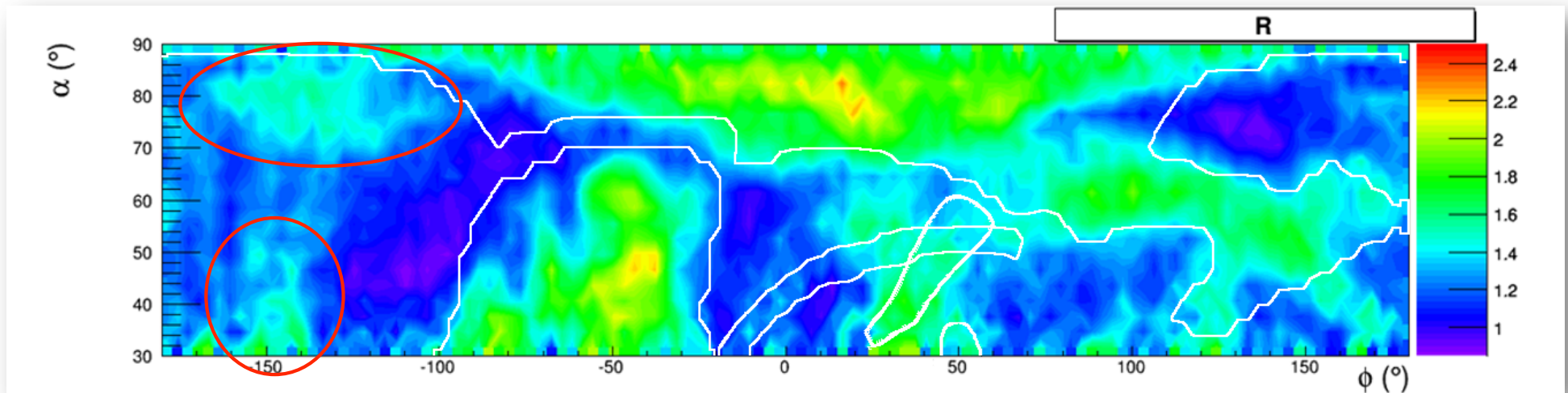


Altri vuoti presenti nell'accettazione del rivelatore

angolo apertura cono 126° .

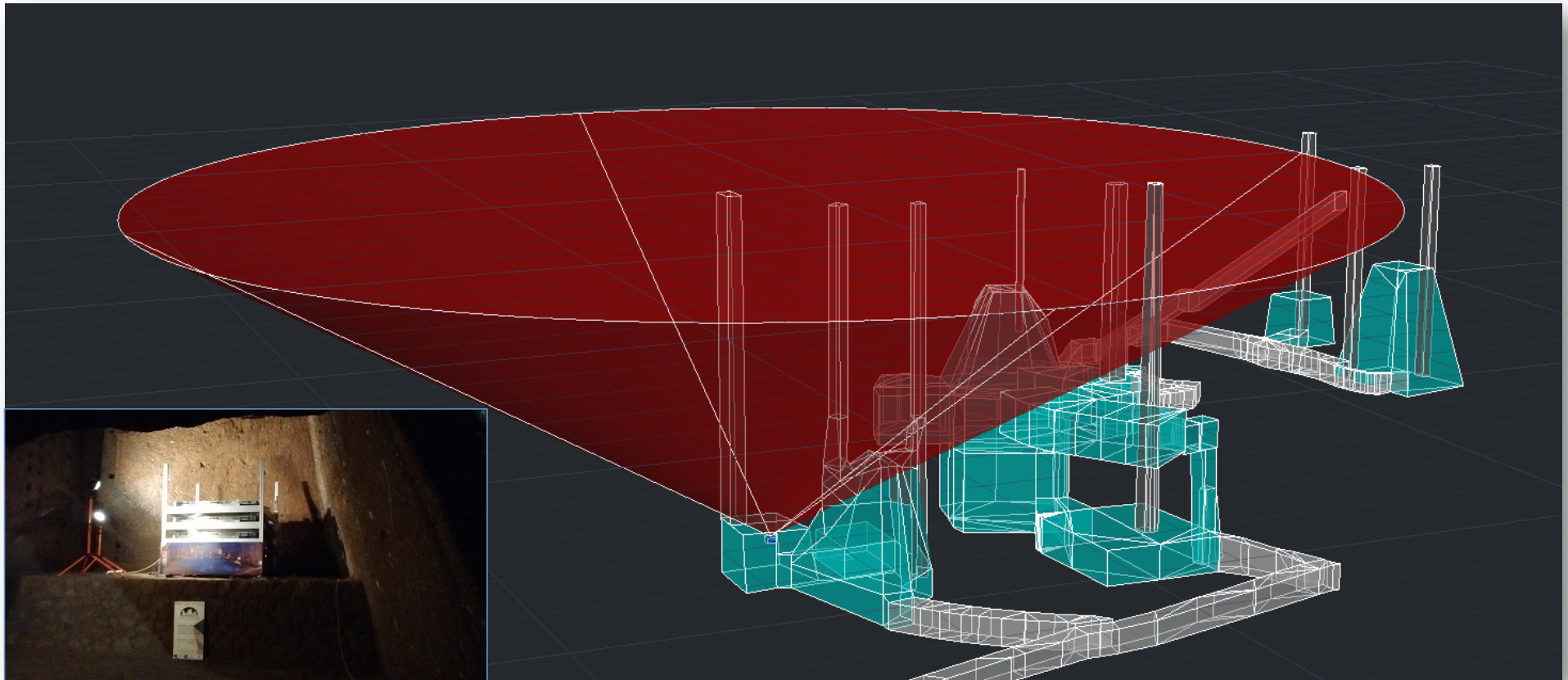


Confronto dati e risultati attesi



Due segnali non corrispondono a strutture note

Un secondo sito di osservazione



Per approfondire

www.nature.com/scientificreports

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Imaging of underground cavities with cosmic-ray muons from observations at Mt. Echia (Naples)

Received: 13 January 2017
Accepted: 27 March 2017
Published online: 26 April 2017

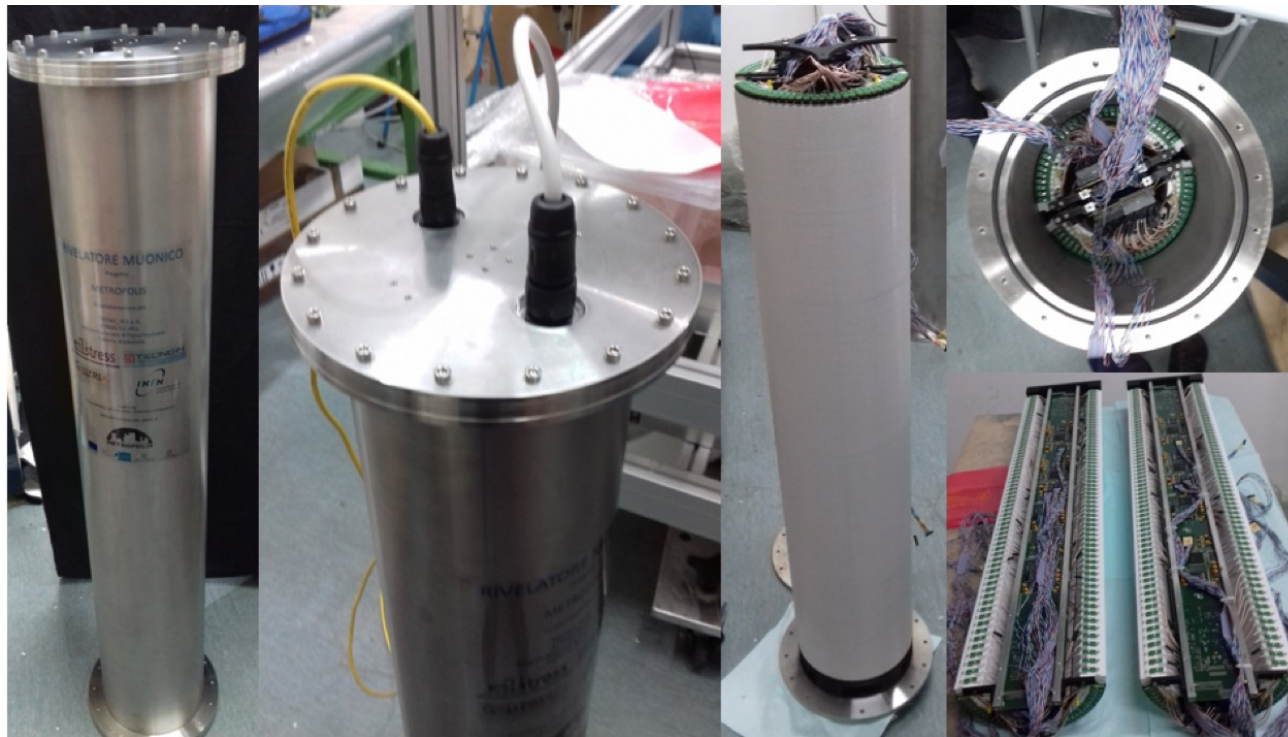
G. Saracino^{1,2}, L. Amato³, F. Ambrosino^{1,2}, G. Antonucci³, L. Bonechi⁴, L. Cimmino², L. Consiglio⁵, R. D. Alessandro^{4,6}, E. De Luzio⁷, G. Minin⁷, P. Noli², L. Scognamiglio⁵, P. Strolin^{1,2} & A. Varriale⁵

Muography is an imaging technique based on the measurement of absorption profiles for muons as they pass through rocks and earth. Muons are produced in the interactions of high-energy cosmic rays in the Earth's atmosphere. The technique is conceptually similar to usual X-ray radiography, but with extended capabilities of investigating over much larger thicknesses of matter thanks to the penetrating power of high-energy muons. Over the centuries a complex system of cavities has been excavated in the yellow tuff of Mt. Echia, the site of the earliest settlement of the city of Naples in the 8th century BC. A new generation muon detector designed by us, was installed under a total rock overburden of about 40 metres. A 26 days pilot run provided about 14 millions of muon events. A comparison of the measured and expected muon fluxes improved the knowledge of the average rock density. The observation of known cavities proved the validity of the muographic technique. Hints on the existence of a so far unknown cavity was obtained. The success of the investigation reported here demonstrates the substantial progress of muography in underground imaging and is likely to open new avenues for its widespread utilisation.

OPEN ACCESS

DETECTOR CILINDRICO DA POZZO

(Brevetto in corso STRESS- INFN)



Nuovo progetto INFN-STRESS



PROGRAMMA OPERATIVO NAZIONALE "RICERCA E INNOVAZIONE" 2014-2020
DECRETO DIRETTORIALE 13 LUGLIO 2017, N. 1735 DEL MINISTERO
DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA - MIUR

PROGETTO DI RICERCA



STRATEGIE E TECNOLOGIE INTEGRATE PER UNA CITTÀ
SICURA E RESILIENTE



Rapporto con il territorio: RIS3 Regione Campania

Research and Innovation Smart Specializations Strategy

TRAIETTORIE TECNOLOGICHE SELEZIONATE	TRAIETTORIE TECNOLOGICHE PRIORITARIE
Sensori fisici, chimici, bio-ottici, elettromagnetici	Sviluppo di sensori di nuova generazione e delle reti di sensori
Rete distribuita di sensoristica fotonica innovativa	
Sviluppo di metodologie, protocolli e applicazioni per le valutazioni preventive e per intervento di mitigazione e adattamento ai cambiamenti globali	Metodologie di valutazione e mitigazione del rischio climatico
Sviluppo di tecniche ottiche interferometriche, spettrofotometriche e di microscopia a scansione ad elevata risoluzione spaziale	Tecnologie per la per analisi strutturali di edifici e prospezione del sottosuolo, anche ai fini archeologici
Sviluppo della tecnica della radiografia muonica	
Sviluppo di tecniche interferometriche per controllo non distruttivo su opere e beni	

TRAIETTORIE TECNOLOGICHE PRIORITARIE	TRL	GRADO DI CAMBIAMENTO ATTESO	CLASSE DELLA TECNOLOGIA
Strumenti di rilievo speditivo attraverso l'uso di satellite di strumento lidar e con tecnologie muoniche	5	Medio-alto	<i>traiettorie tecnologiche sviluppabili nel medio periodo</i>

AMBITO TECNOLOGICO: *Archeologia preventiva e prospezione del sottosuolo*

TRAIETTORIE TECNOLOGICHE PERSEGUITE	POSSIBILI APPLICAZIONI	SETTORE INDUSTRIALE INTERESSATO
Sistemi integrati basati su tecniche geofisiche in situ e da piattaforme aeree	Indagini diagnostiche preventive per interventi infrastrutturali	Turismo Costruzioni
Sviluppo della tecnica della radiografia muonica	Localizzazione nel sottosuolo di strutture di interesse archeologico e monitoraggio del rischio vulcanico	Industrie culturali Costruzioni

TRL (technological readiness level) assume valori da 1 a 9, con 9 il livello della maggiore maturità tecnologica

Grado di cambiamento atteso: traduce in termini qualitativi (alto, medio alto, medio, medio-basso, basso) le opportunità connesse alla sviluppo di una data soluzione tecnologica

Rapporto con il territorio

Protocollo d'intesa INFN-Comune di Napoli



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Napoli



PROTOCOLLO D'INTESA

PER LO SVILUPPO DI AZIONI DI COLLABORAZIONE VOLTE A FAVORIRE LA DISSEMINAZIONE DI CONOSCENZE SCIENTIFICHE (.....)

- che tra le aree di potenziale applicazione nel tessuto cittadino pertinenti alle conoscenze e competenze dell'INFN possono essere identificate, a titolo di esempio e in maniera non esaustiva, le seguenti:
 - Analisi del sottosuolo con radiografia muonica, con potenziali applicazioni di interesse per la sicurezza del territorio e per l'archeologia;
 - Divulgazione scientifica e sensibilizzazione della popolazione su tematiche scientifiche e ambientali;
 - Monitoraggio della radioattività ambientale, in particolare dovuta al gas naturale Radon;
 - Trattamento statistico dei dati per analisi scientifica e applicazioni con calcolo intensivo a vari possibili fini.

Nuovi progetti: archeologia

(Univ. Federico II, Univ. Vanvitelli)



Prima colonia greca in Italia (VIII secolo B.C).

Ricca di cavità e tunnel esplorabili

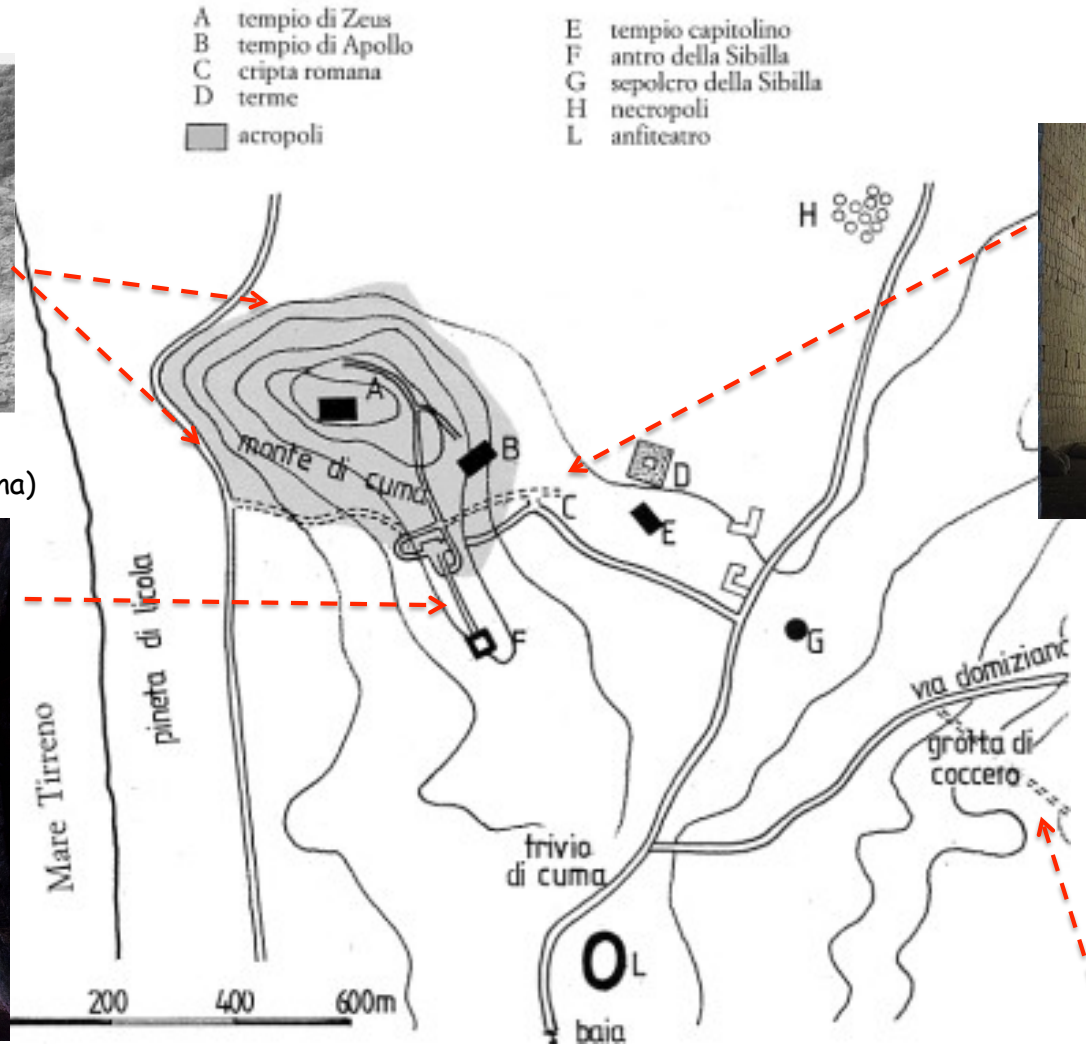
Utilizzata dai militari per la sua posizione strategica sino alla II guerra mondiale.

Il sito archeologico

Bunker II guerra mondiale



Antro della Sibilla (epoca pre-romana)



Cripta Romana 37 B.C.



Tunnel di Cocceio 37 B.C.



Studio delle scorie radioattive (Univ. Glasgow, Lab. SELLAFIELD)

Due tecniche (M.S. e attenuazione) simulate per cubi di Uranio 10 cm, 5 cm

Jinst

PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: December 19, 2014

REVISED: April 24, 2015

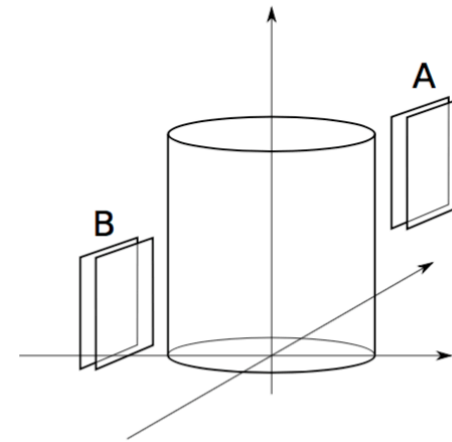
ACCEPTED: May 22, 2015

PUBLISHED: June 16, 2015

TECHNICAL REPORT

Assessing the feasibility of interrogating nuclear waste storage silos using cosmic-ray muons

F. Ambrosino,^{a,b} L. Bonechi,^c L. Cimmino,^{a,b} R. D'Alessandro,^{c,d} D.G. Ireland,^e
R. Kaiser,^e D.F. Mahon,^e N. Mori,^{f,c} P. Noli,^b G. Saracino,^{a,b} C. Shearer,^g L. Viliani^{c,d}
and G. Yang^e



CONCLUSIONI

- Vulcani: INGV, IN2P3. Installazione rivelatori MURAVES al Vesuvio
- Ingegneria civile: STRESS- TECNO-IN, Comune di Napoli, Regione Campania
 - Simulazioni
 - Misure a Monte Echia
 - Rivelatore cilindrico
 - PON 2015 *STRASICURE*
- Archeologia: UNINA, Univ. Vanvitelli
- Studio Scorie Radioattive (Univ. Glasgow, Lab. Sellafield)

THE END