

# UNDERGROUND MUON FLUX MEASUREMENTS -UPDATE-

C.Cicalò  
INFN Cagliari

# WHY MEASUREMENT UNDERGROUND

- Natural extension of altitude measurement
- Well known sites
- Abundance of data of underground measurement
- Real and handy example of attenuation phenomena
- Didactic and popular
- No expensive gas involved...

12 Sabato 15 dicembre 2018

Regione

L'UNIONE SARDA

**Fisica.** Il Centro Fermi e le scuole coinvolte vogliono capire quanto i fasci penetrino nella Terra

## Studenti in miniera ma a caccia di raggi cosmici

Il bacino di Nuraxi Figus campo di ricerca per alcuni istituti cagliaritari

La miniera di Nuraxi Figus della Carbonalis, già coinvolta nel panorama della scienza internazionale per il progetto ARIA, si arricchisce dell'interesse di studenti e ricercatori coinvolti nel progetto Extreme Energy Events (EEE). Il progetto, figlio di un'iniziativa del Centro Fermi (centro di studi e ricerche) che ha preso spunto da una idea del professor Antonino Zichichi, è partito con la prima installazione di rivelatori nelle scuole nel 2008. Oltre al notevole interesse scientifico, EEE è anche un'occasione per coinvolgere e avviare gli studenti a una vera attività di ricerca scientifica sul campo. L'oggetto di studio dell'esperimento sono i raggi cosmici che raggiungono la superficie terrestre, attraverso una serie di rivelatori installati presso 50 istituti di istruzione superiore secondaria in Italia tra cui i nostri Istituti Pacinotti, Alberti e Michelangelo di Cagliari, ed il liceo Brotzu e l'ITIS Levi di Quartu.

**A caccia di raggi cosmici.** I raggi cosmici sono protoni e nuclei leggeri che provengono dagli angoli più lontani del cosmo che, all'impatto con l'atmosfera, interagiscono producendo sciami di particelle che a loro volta raggiungono la superficie terrestre. Fra queste particelle le più abbondanti sono i muoni, particelle simili agli elettroni che al livello del mare sono circa 100 per metro quadro al secondo. Il loro numero varia con la quota, ma varia anche la loro energia: a terra essi possiedono ancora sufficiente energia da attraversare spessi strati di roccia. Numerosi esperimenti di fisica fondamentale sono installati sotto le montagne proprio per schermare il flusso di muoni, è quindi importante conoscere quanti muoni riescono a penetrare la roccia a una certa profondità.

calò, S.Boi e G.Serri, ha effettuato delle misure a diverse profondità, da 170 metri sino ad arrivare al fondo della miniera a quota 500 metri al di sotto della superficie, con tempi di presa dati via via crescenti. Durante le misure che termineranno a metà gennaio, il personale della Carbonalis ha fornito costante supporto per accedere al sito e ha provveduto alla formazione dei gruppi sulle necessarie procedure di sicurezza.

I risultati preliminari elaborati a partire dalle prime misure sono stati presentati sabato scorso alla conferenza nazionale del Centro Fermi tenutasi a Treviso.

**Andrea Mammì**  
REPRODUZIONE RISERVATA

**SECONDA VITA**

**Scienza**  
Un esperimento fatto insieme agli studenti in strutture sotterranee come le miniere consente di riqualificare i preziosi investimenti del passato, in modo educativo e moderno, permettendo di mantenere e utilizzare le competenze acquisite dai lavoratori che da anni se ne occupano.

Un gruppo di alunni del Pacinotti, accompagnati dai docenti A.Gaius, S.Loggi e F.Usai, e dai ricercatori dell'Istituto Nazionale di Fisica nucleare di Cagliari C.Cicalò, S.Boi e G.Serri, ha effettuato delle misure a diverse profondità, da 170 metri sino ad arrivare al fondo della miniera a quota 500 metri al di sotto della superficie, con tempi di presa dati via via crescenti. Durante le misure che termineranno a metà gennaio, il personale della Carbonalis ha fornito costante supporto per accedere al sito e ha provveduto alla formazione dei gruppi sulle necessarie procedure di sicurezza.

I risultati preliminari elaborati a partire dalle prime misure sono stati presentati sabato scorso alla conferenza nazionale del Centro Fermi tenutasi a Treviso.

**Andrea Mammì**  
REPRODUZIONE RISERVATA

**MINATORI**  
I ragazzi del Liceo Pacinotti di Cagliari che hanno partecipato all'esperimento nella miniera di Nuraxi Figus

**Spazio**  
Nano satelliti per osservare le esplosioni

Lo spazio visto da vicino. Come? Attraverso una costellazione di satelliti che osserva, registra e invia i dati alla Terra. Sarà un sistema in grado di dare la caccia e localizzare le enormi esplosioni cosmiche con una precisione variabile tra pochi gradi e qualche minuto. Il progetto si chiama Hermes-Scientific Pathfinder (SP), è finanziato nel bando Horizon 2020 SP4GE-20-SCI. Dietro c'è l'intuizione di Luciano Burdieri, siciliano, docente al Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari e del collega Fabrizio Fiore, dell'Istituto nazionale di astrofisica, coordinatore del progetto. Prevista, a costi ridotti, la realizzazione di tre nano-satelliti, equipaggiati con rivelatori in banda X ad alta tecnologia e di piccole dimensioni.

Hermes-SP si muove nel campo dei "fractionated sensors". Ciò si basa su un numero elevato di sensori distribuiti e imbarcati su piattaforme satellitari piccole e snelle. Partner dell'iniziativa, con l'Ateneo di Cagliari, sono il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aero-spaziali del Politecnico di Milano e numerose Università e piccole-medie imprese europee. Hermes-SP può contare anche sul supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana. I tre nano-satelliti si aggungeranno ad altre tre navicelle in fase di realizzazione.

REPRODUZIONE RISERVATA



# THE NURAXI FIGUS - SERUCI MINE COMPLEX

- Why here?
  - Active mine, no more extractions
  - Winze (“discenderia”) → easy to transport material
  - Electric current steady supply
  - Staff availability : project ARIA
  - Geological depth profile



# THE DETECTORS

- Cosmic Box
  - Box of two  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  plastic scintillators (spread 12cm)
  - Three detectors connected with Raspberry PC
  - Each event on a CB time tagged
  - Possibility to add the statistics of the three detectors
  - Arduino start signal
- ASTRO (first 4 points)
  - 8 scintillators with single SiPM (4 long  $60 \times 8 \text{ cm}$ , 4 short  $15 \times 8 \text{ cm}$ )
  - Several coincidence combination (2 scintillator or more)
  - FPGA system control
  - Hardware temperature correction
  - Photo-electron Calibration
  - Transportable in sealed box
  - Weather station and GPS
  - 20 h autonomy with battery and switch in case of no normal power

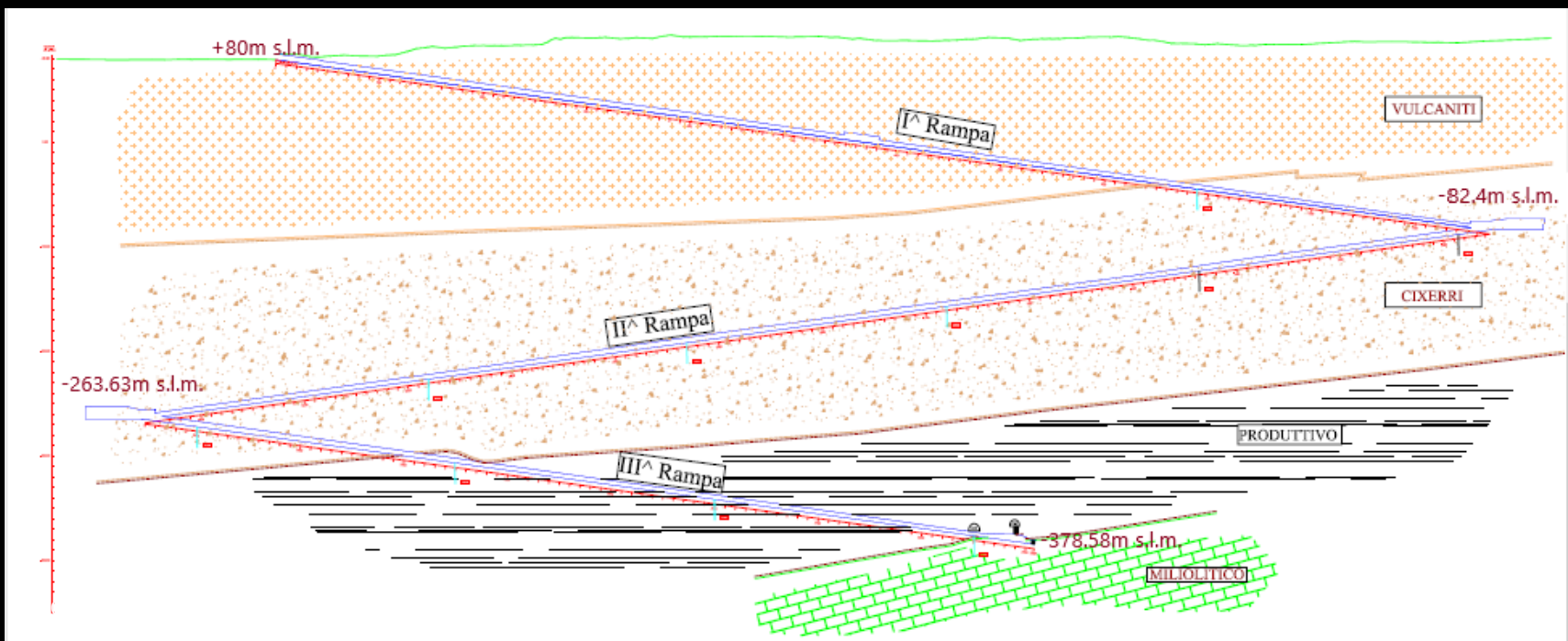
# UNDERGROUND MEASUREMENT

Ongoing measurement n.5



# THE MEASUREMENTS

- Selected levels:
  - Surface (+100 m above sea level A.S.L.) out of the mine entrance
  - - 174 m (-78 m A.S.L.)
  - - 250 m (-148m A.S.L.) **NEW**
  - - 339 m (-259 m A.S.L.)
  - - 500m (-397 m A.S.L.)



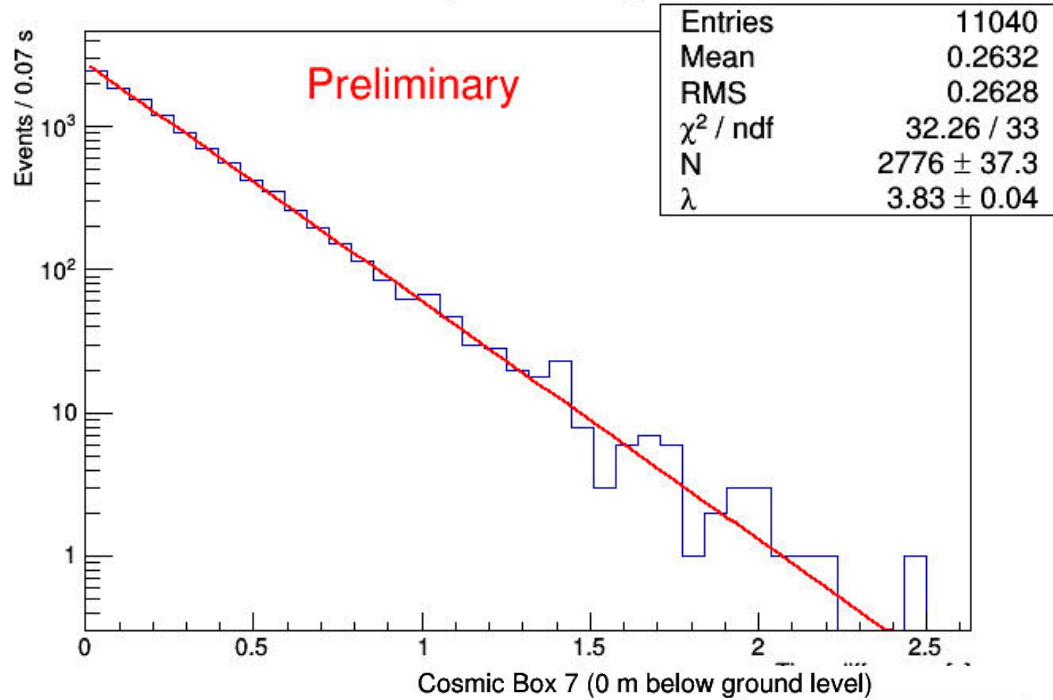


# RESULTS OF ONGOING MEASUREMENTS

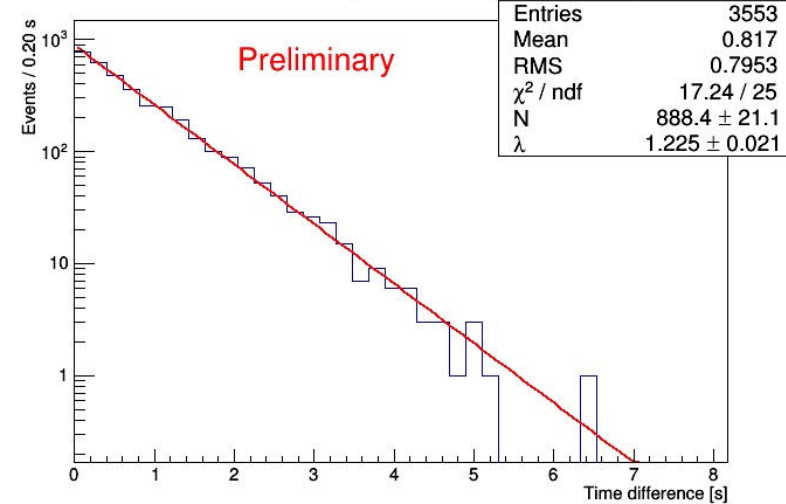
Outside the mine... (+100m A.S.L.)  
Acquisition time 2902s

# DISTRIBUTION OF TIME DIFFERENCE BETWEEN TWO SUBSEQUENT EVENTS

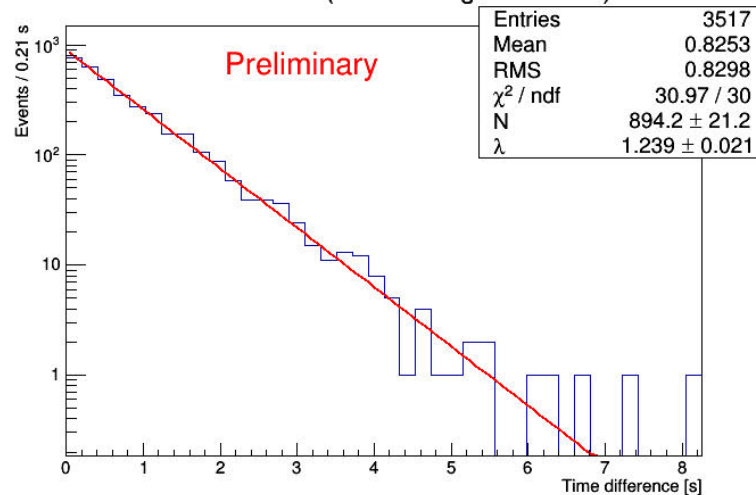
Full statistics (0 m below ground level)



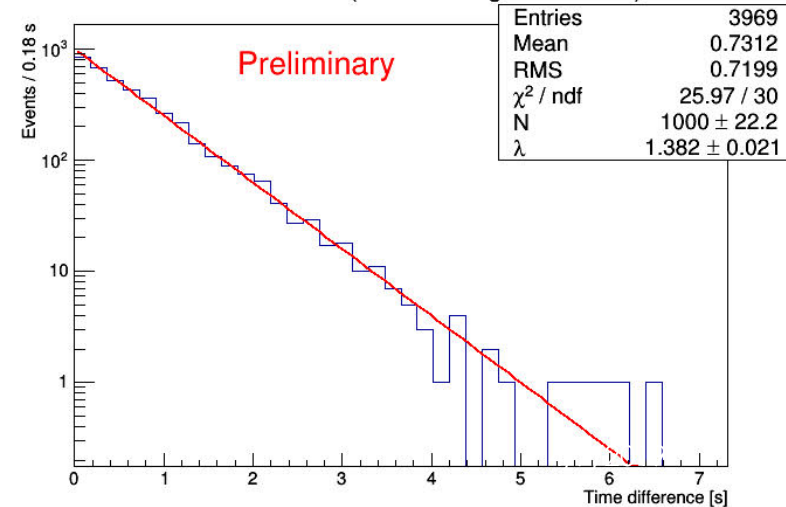
Cosmic Box 14 (0 m below ground level)



Cosmic Box 7 (0 m below ground level)



Cosmic Box 11 (0 m below ground level)

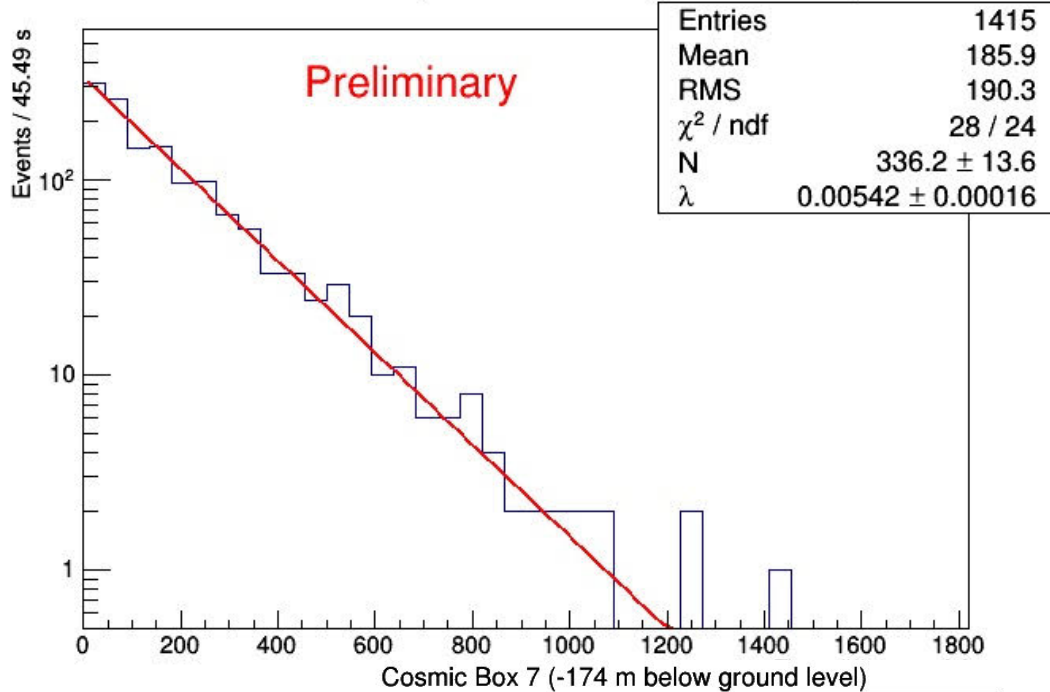




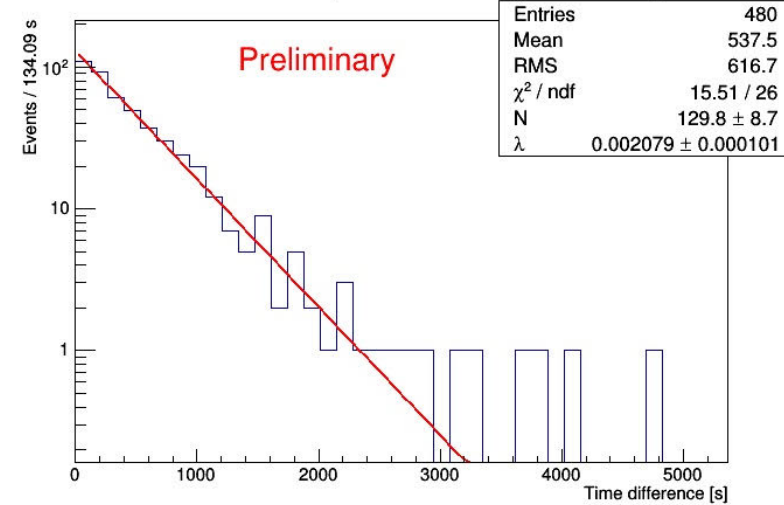
First level inside the mine..  
Acquisition time 72hr=259200s

# DISTRIBUTION OF TIME DIFFERENCE BETWEEN TWO SUBSEQUENT EVENTS

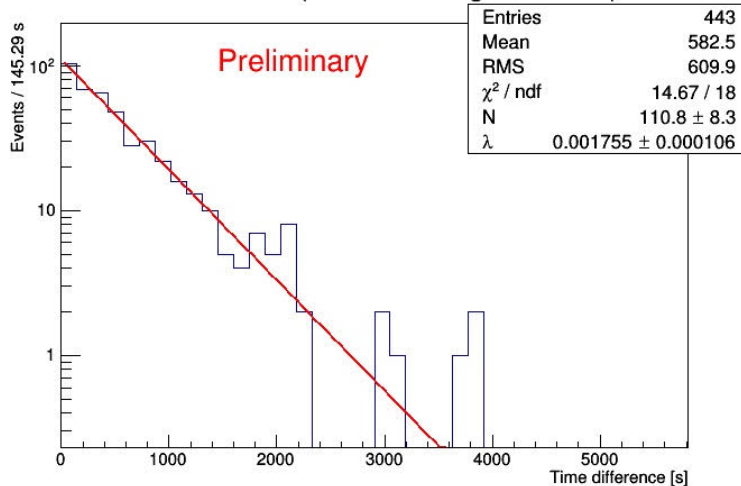
Full statistics (-174 m below ground level)



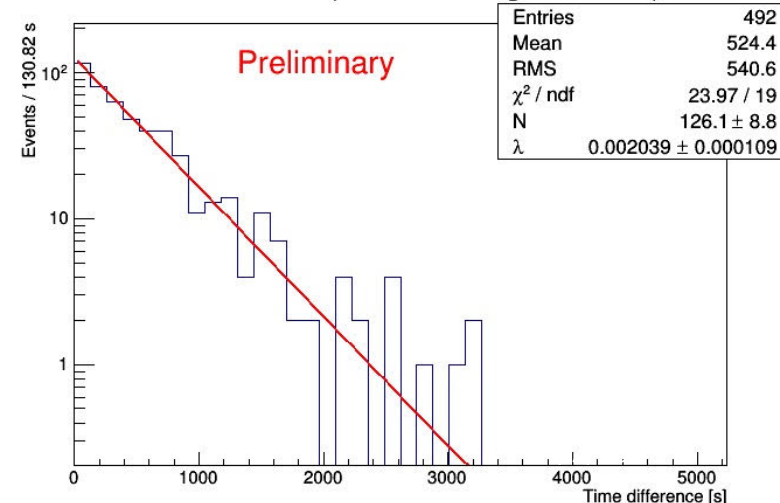
Cosmic Box 14 (-174 m below ground level)



Cosmic Box 7 (-174 m below ground level)



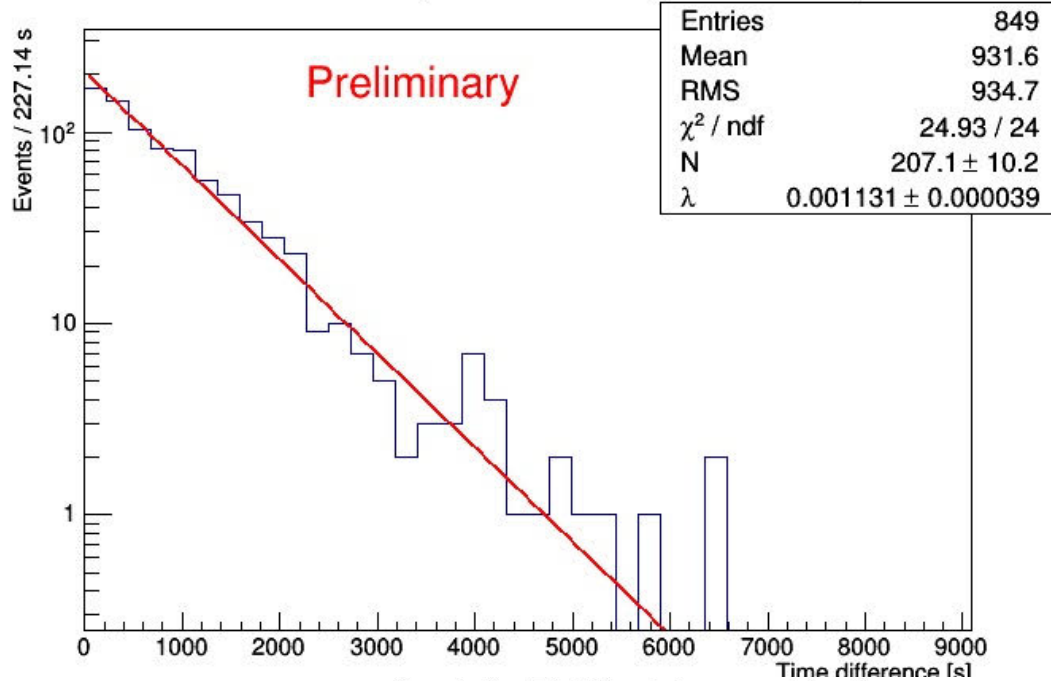
Cosmic Box 11 (-174 m below ground level)



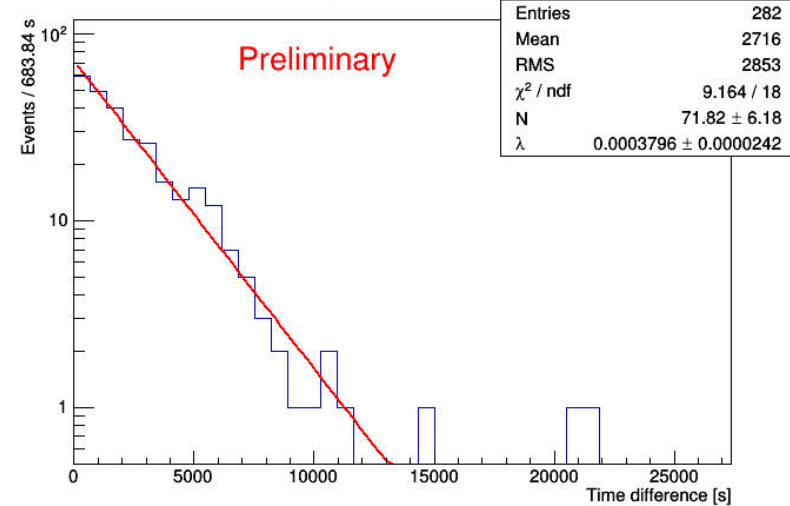
Second level inside the mine..  
Acquisition time  $9d=7.7 \cdot 10^5s$

# DISTRIBUTION OF TIME DIFFERENCE BETWEEN TWO SUBSEQUENT EVENTS

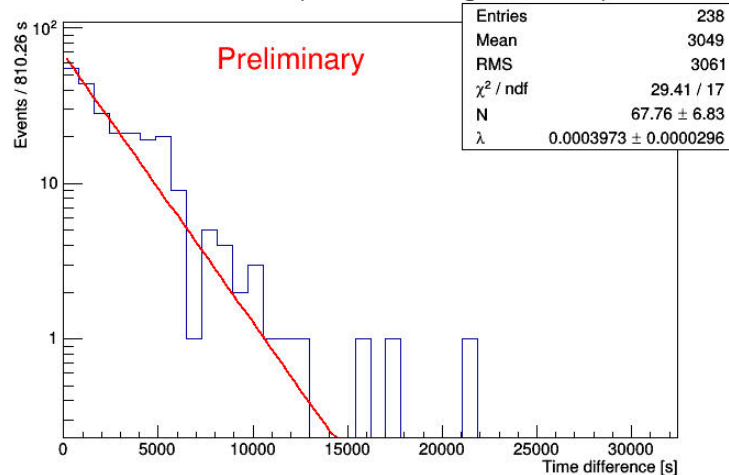
Full statistics (-339 m below ground level)



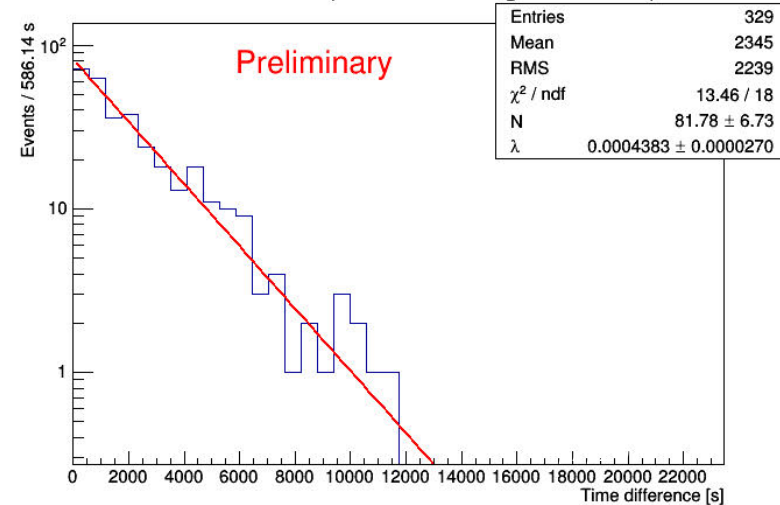
Cosmic Box 14 (-339 m below ground level)



Cosmic Box 7 (-339 m below ground level)



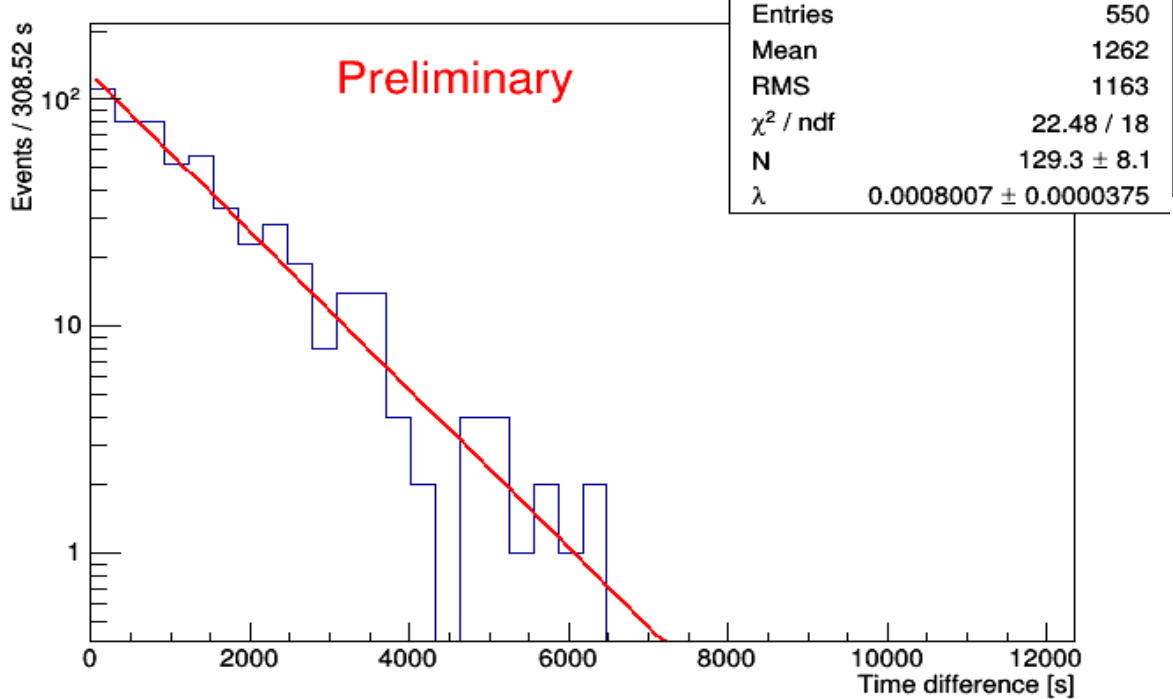
Cosmic Box 11 (-339 m below ground level)



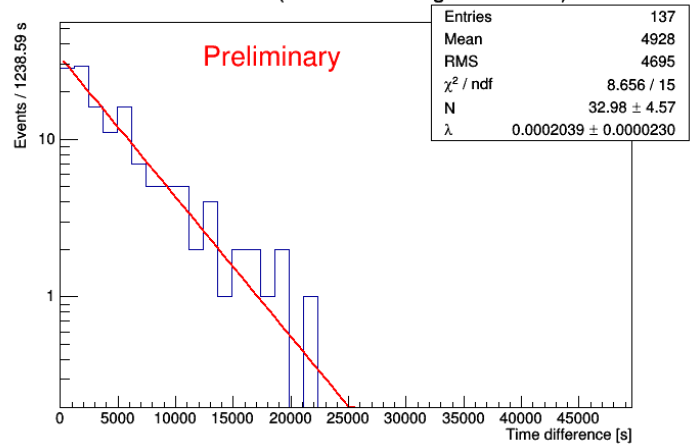
Third level inside the mine..  
 Acquisition time(fragment,S.Boi  
 14/01/19)  $8d=6.79 \cdot 10^5s$

# DISTRIBUTION OF TIME DIFFERENCE BETWEEN TWO SUBSEQUENT EVENTS

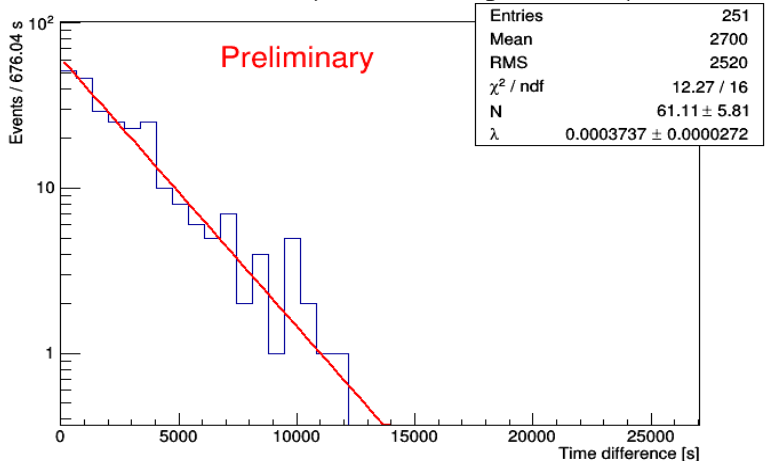
Full statistics (-512 m below ground level)



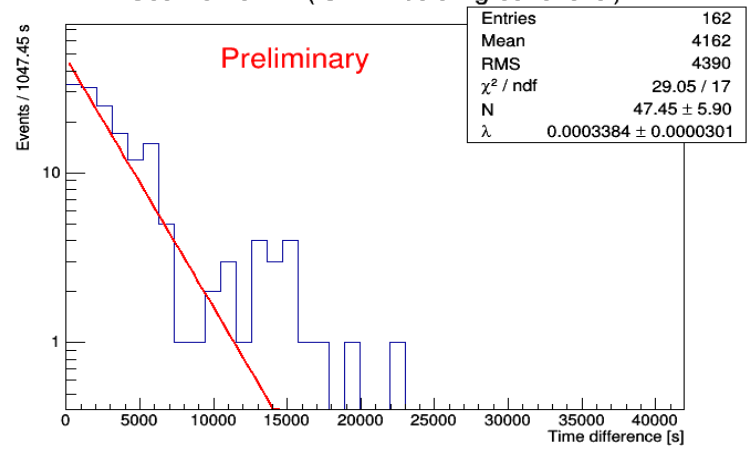
Cosmic Box 7 (-512 m below ground level)



Cosmic Box 11 (-512 m below ground level)



Cosmic Box 14 (-512 m below ground level)



Fourth inside the mine.. Acquisition time  $25d=2,16 \cdot 10^6$ (partial)

# DISTRIBUTION OF TIME DIFFERENCE BETWEEN TWO SUBSEQUENT EVENTS

- -250 m below ground level
- No daq file registered
- Abnormal count on one cosmic box
- No event time stamp to identify and fix the singularity (cfr. S.Boi last report)
- But still..
  - CB7            3517
  - CB11          156790 ???
  - CB14          2547

-ABORTED-



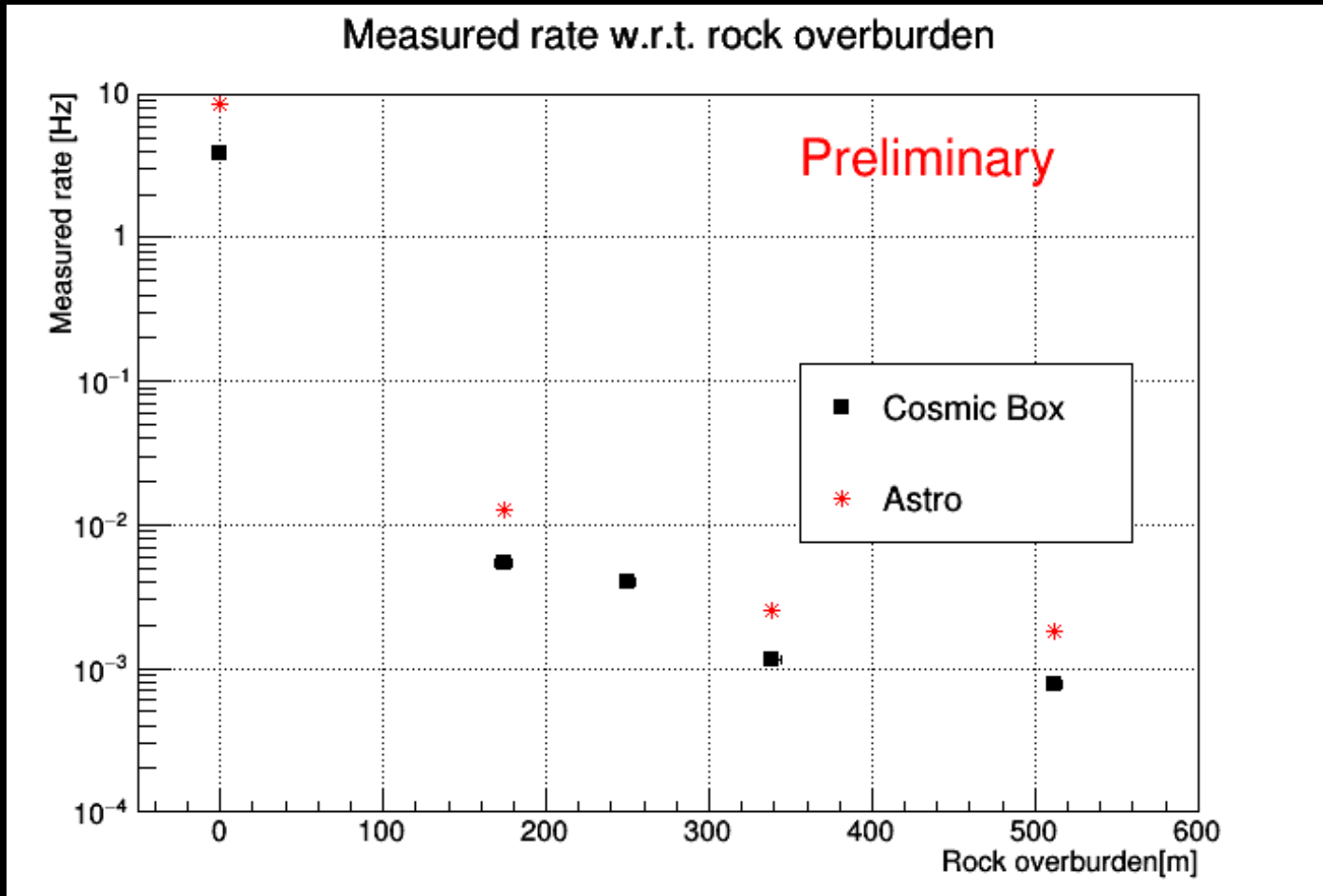
# RATE

Depth (m)	Rate (Hz)	Error
0	3,83	0,04
174	5,42e-03	0,16e-03
250 (NEW)	4,21e-03	0,05e-03
339	1,13e-03	0,04e-03
500	8,0e-04	0,4e-04

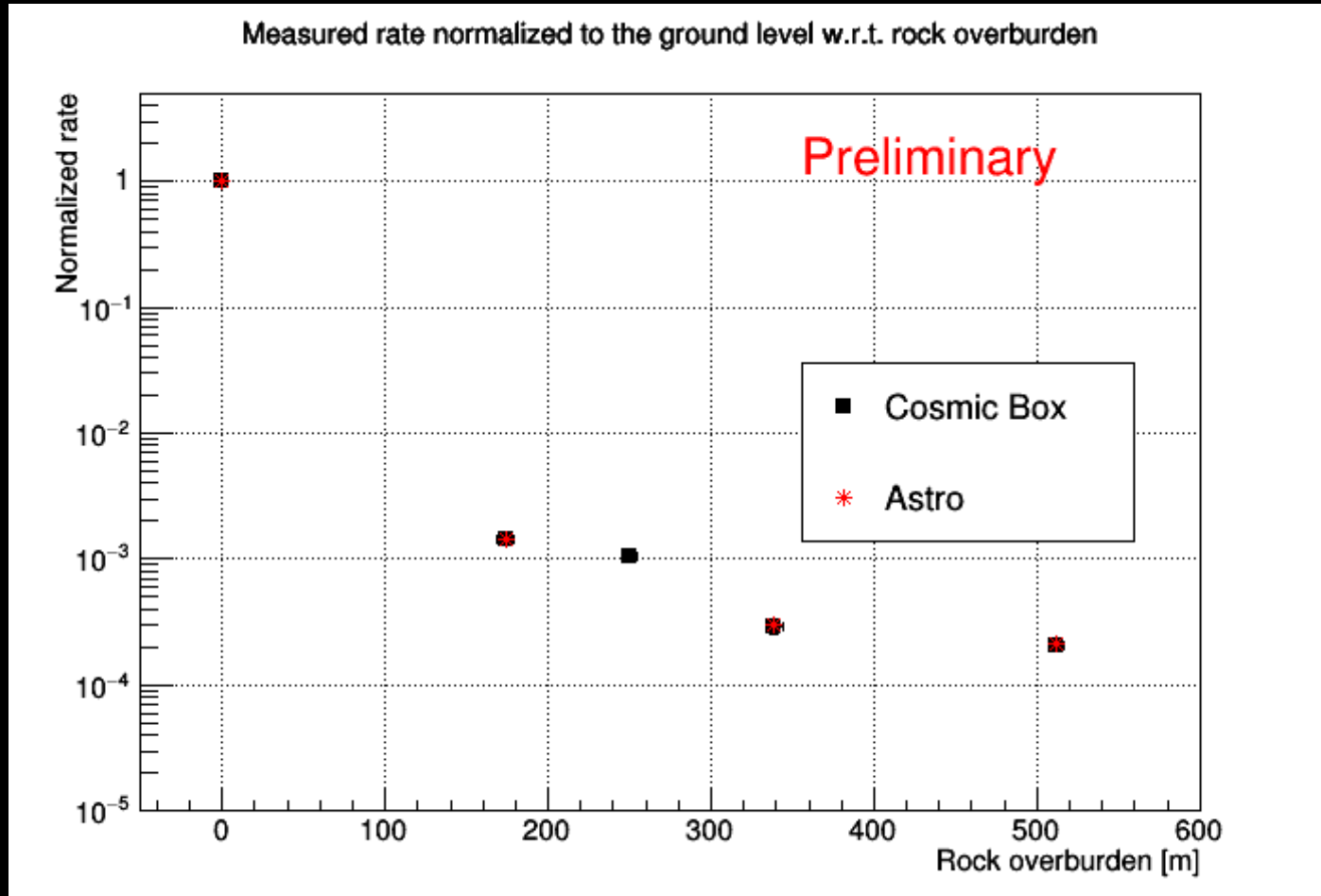
# SIGNIFICANCE

Depth (m)	Significance ( $\sqrt{N}/N$ )	Significance ( $\partial\lambda/\lambda$ )
0	0,010	0,009
174	0,027	0,030
250 (NEW)	0,012	-
339	0,034	0,034
512	< 0,043	< 0,046

# RESULTS: RATE

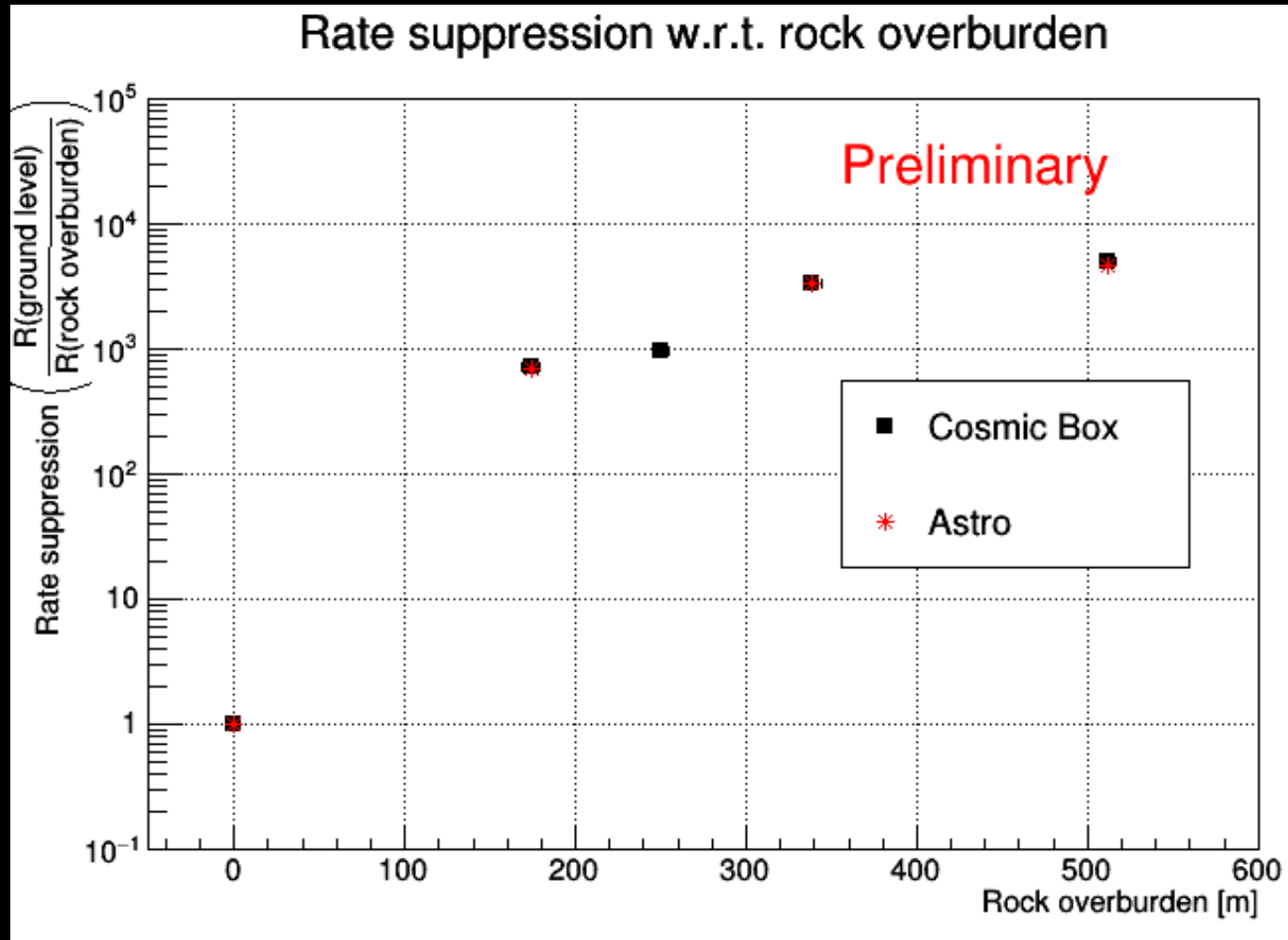


# NORMALISED RATE





# RATE SUPPRESSION



# COMPARISON ON EXPECTED RATE

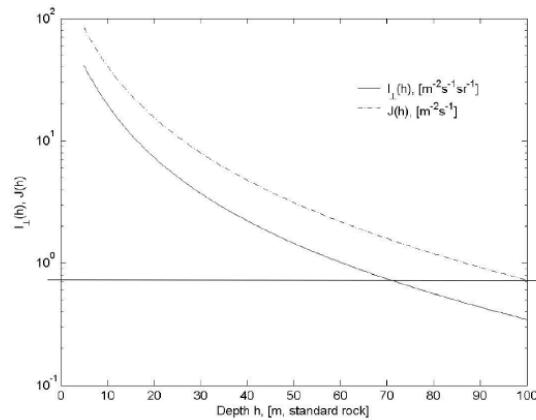


Figura: Muon flux as a function of standard rock depth (Cosmic muon flux at shallow depths underground. L.N.Bogdanova, M.G.Gavrilov, V.N. Kornoukhov, A.S.Starostin).

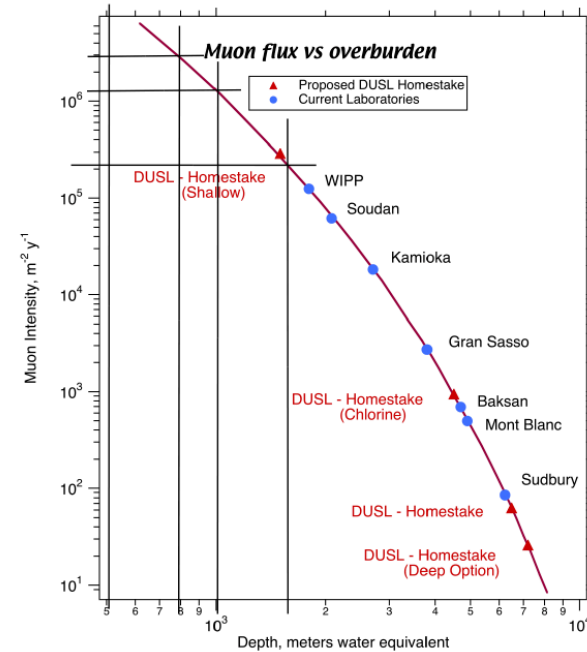
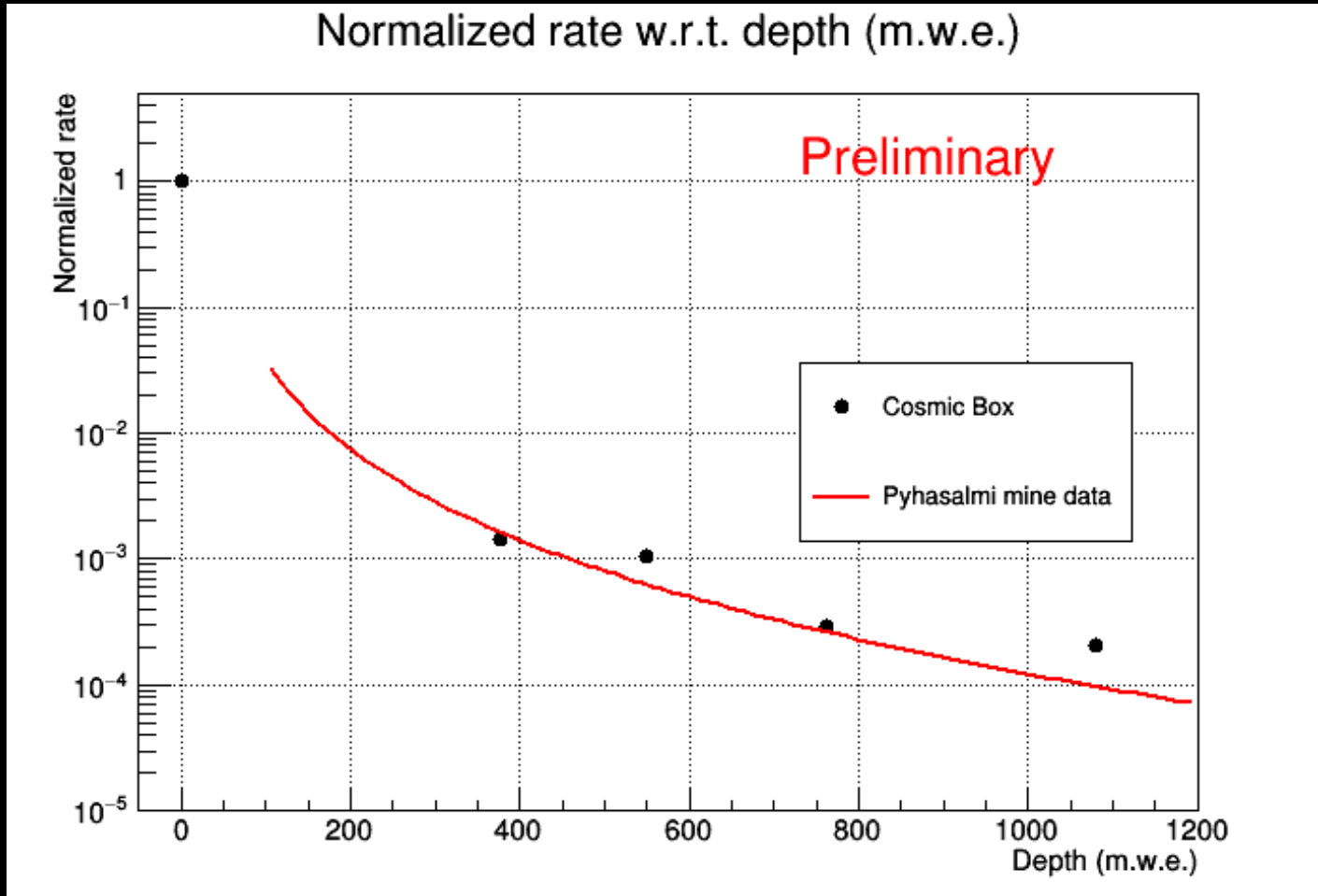


Figura: Muon flux as a function of depth in equivalent m of water measured in various experiments (V. Diwan et al J. (2003). Megaton Modular Multi-Purpose Neutrino Detector for a Program of Physics in the Homestake DUSEL).

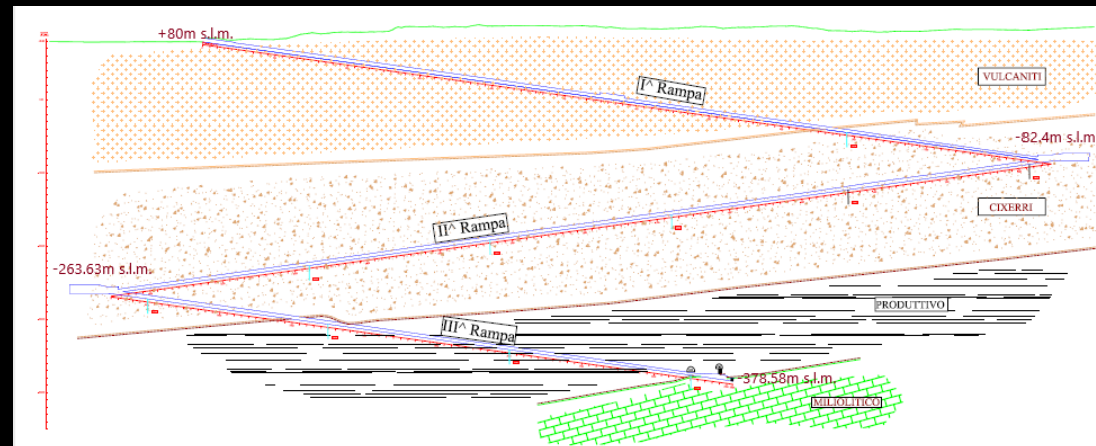
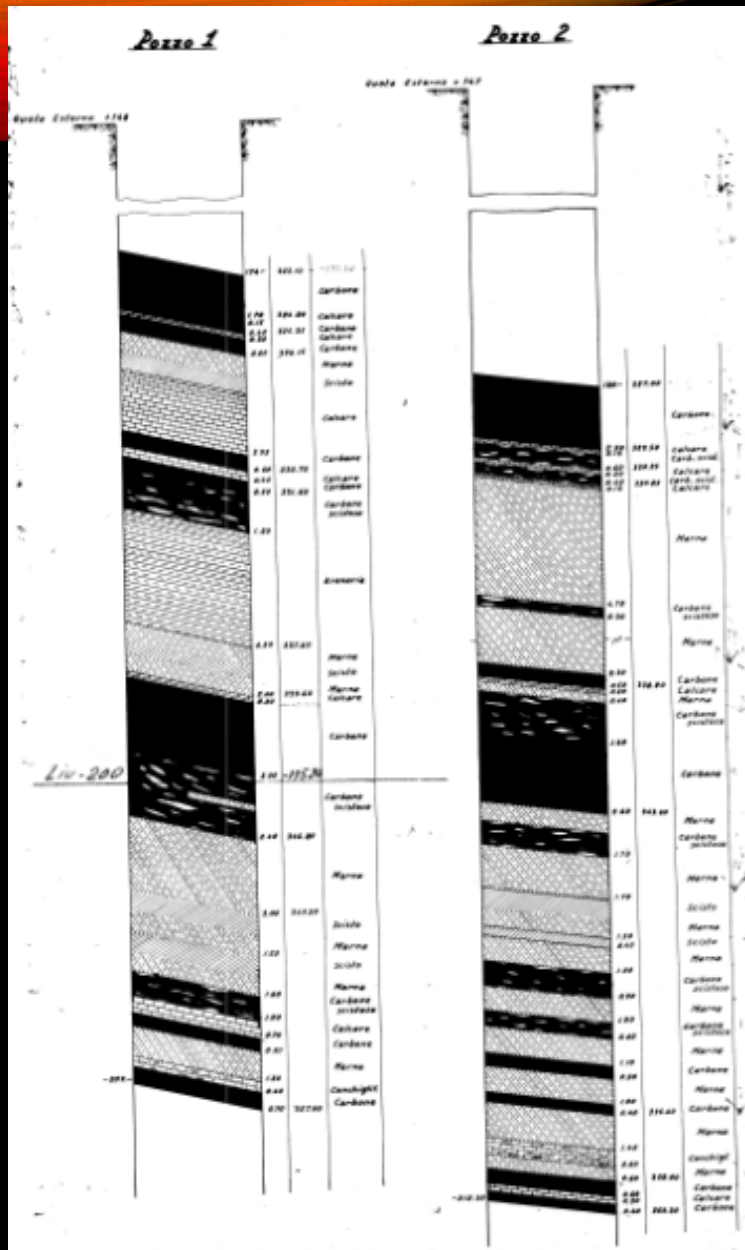
# NORMALIZED RATE COMPARISON TO PYHÄSALMI MINE



# CONVERSION TO W.M.E.: STUDY OF THE TERRAIN

- Soil information have been digitized
- New update on materials from recent sampling to be implemented
- Developing simulation
- Direct proof of CB sensitivity: same depth measurements with controlled soil variation available

# NURAXI FIGUS VS SERUCI



# WHAT WE DID

- Took 4 points with good significance
- Found conversion into M.W.E.
- Comparison with other measurements in literature
- Found agreement with Pyhäsalmi distribution

# WHAT WE ARE DOING

- Taking new measurement at 250m depth
- Studying problems of DAQ
- Studying stability of CB (during electric variations?)

# OUTLOOK

- Fully simulate soil and density resolution
- Experimentally test CB sensitivity to density variation
- Take two measurements at Seruci site
- Improve events file accessibility and writing
- Find flux dependance to depth law in m.w.e.





# ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Nuraxi Figus mine's staff

Thanks to Centro Fermi, INFN Cagliari



BEYOND



4/7/2019