Radiografia Muonica

inseguendo i muoni tra vulcani, piramidi e altri segreti

Dr. Mariaelena D'Errico

Introduzione

- **Scopo**: guardare all'interno di grandi oggetti (Vulcani, piramidi, colline…)
- **Metodo**: si utilizzano particelle *cosmiche*
- **Strumenti:** rivelatore di particelle, elettronica, computer… **RICERCATORI**

Outline

La Fisica

Gli Strumenti

Le Applicazioni

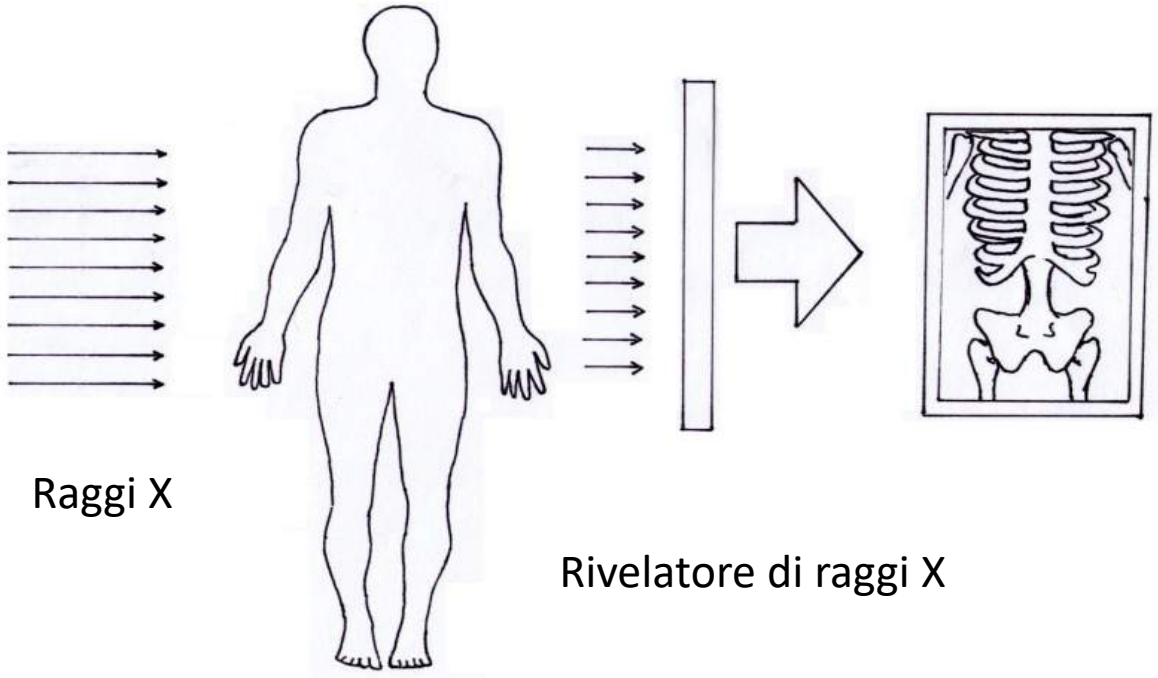
La Fisica

Radiografia Muonica

Radiografia

La Fisica

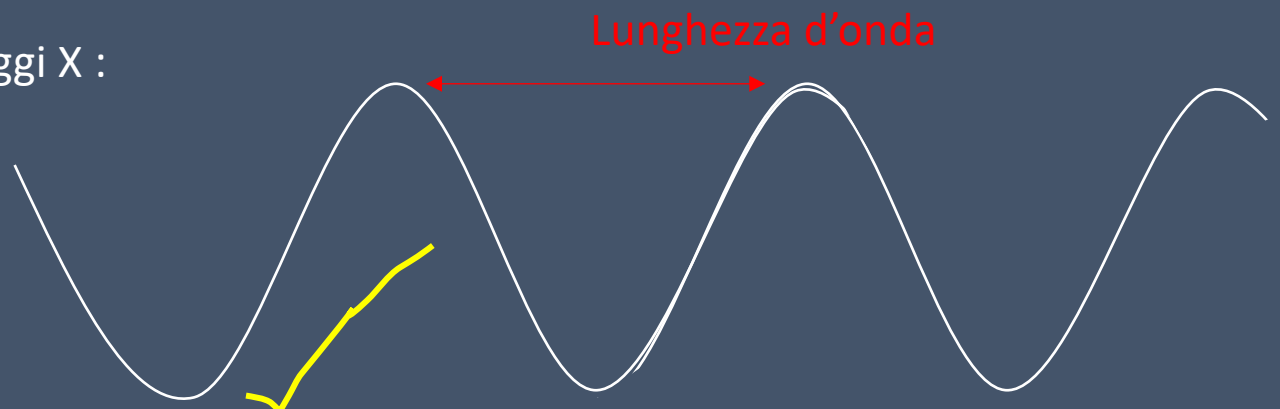
- Materiali di diversa densità assorbono in modo differente la radiazione X (sono più o meno «trasparenti»)
- La lastra («il rivelatore») si annerisce di più nelle regioni dove passano più raggi X (tessuti molli) e di meno nelle altre (ossa).
- Contrasto generato dalla differente probabilità di interazione nei due casi.

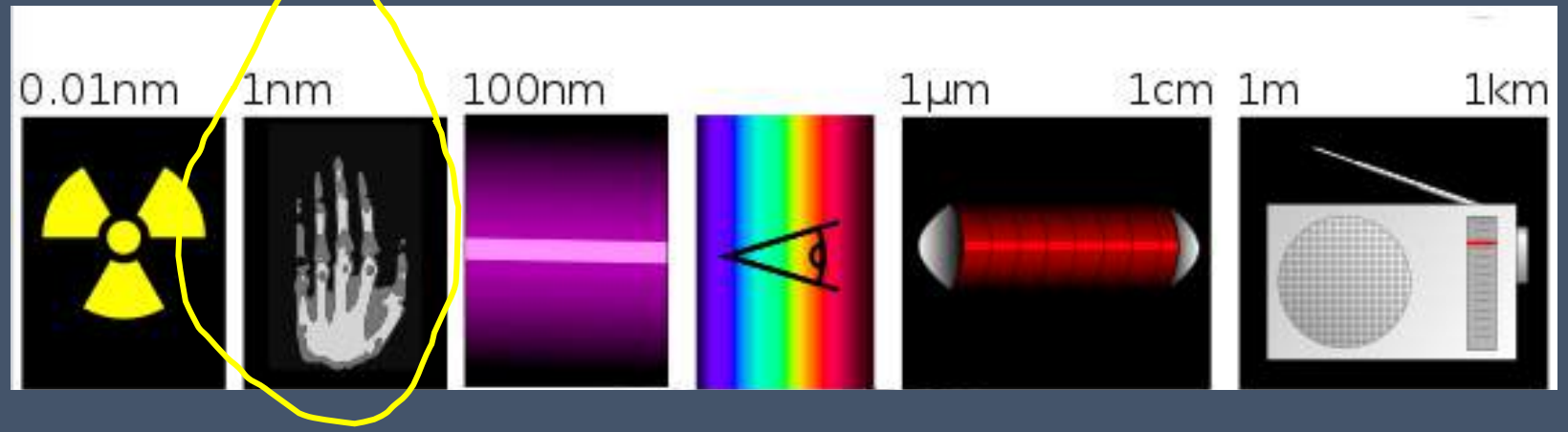


Radiografia

La Fisica

Raggi X :





Raggi X -> fotoni

quanti della radiazione elettromagnetica con elevata energia
(alcune migliaia di volte più grande della luce visibile)

La Fisica

Radiografia Muonica

La Fisica

Radiografia Muonica

Muonica

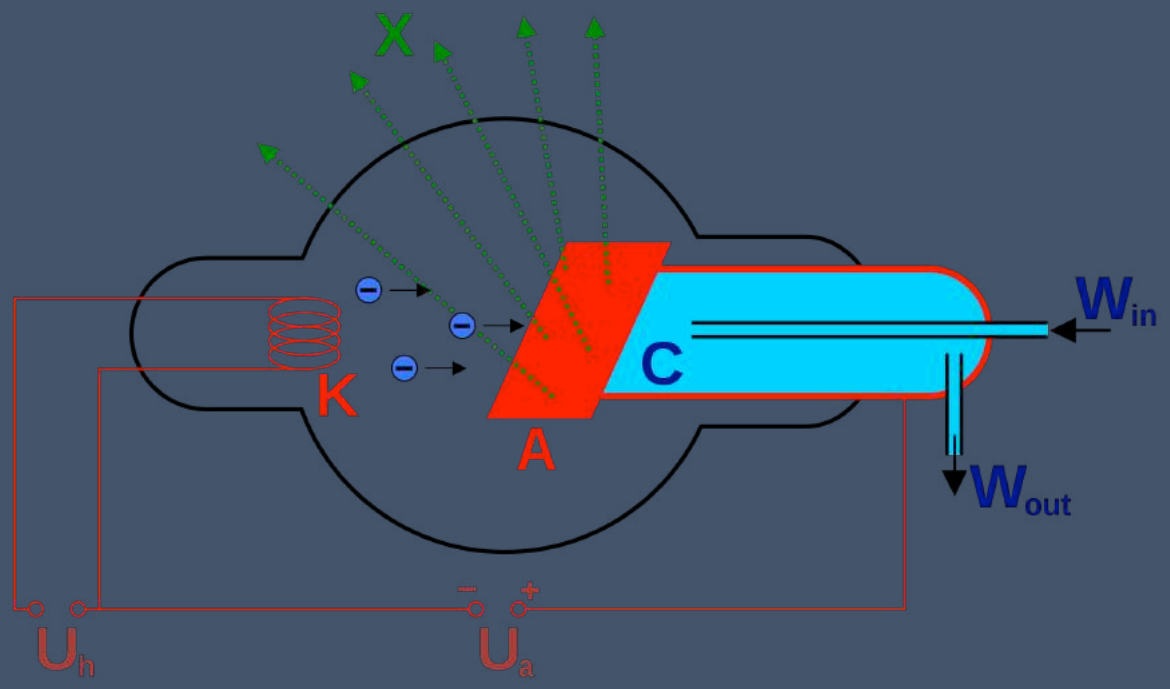
La Fisica

Il muone:

- Particella elementare (priva di struttura interna)
- Carica elettrica uguale a quella dell'elettrone
- massa circa 200 volte quella dell'elettrone
- instabile: decade (in media) in 2.2 milionesimi di secondo(2,2 μs)

La Fisica

Sorgenti di particelle:



Tubo a raggi X

200 muoni al minuto

Raggi Cosmici

La Fisica

RAGGI X

Interazioni con la materia: effetto fotoelettrico, effetto compton, coppie e+/e-

Sopravvivenza alla materia: (dipende dalla densità) limite ~ cemento 1m

Vs

MUONI

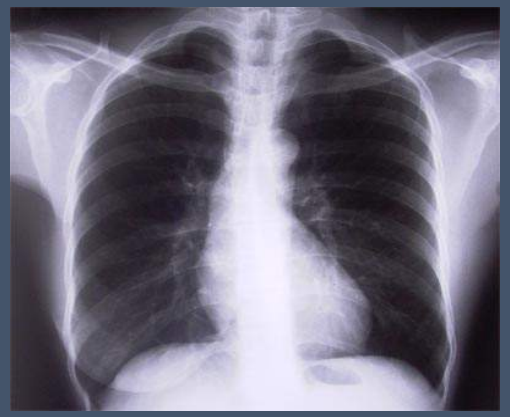
Interazioni con la materia: interazioni elettromagnetiche e debole (no forte!)

Sopravvivenza alla materia: (dipende dalla densità) limite ~ centinaia di m di roccia

La Fisica

RADIOGRAFIA X

Ok per corpo umano e piccoli oggetti



Vs

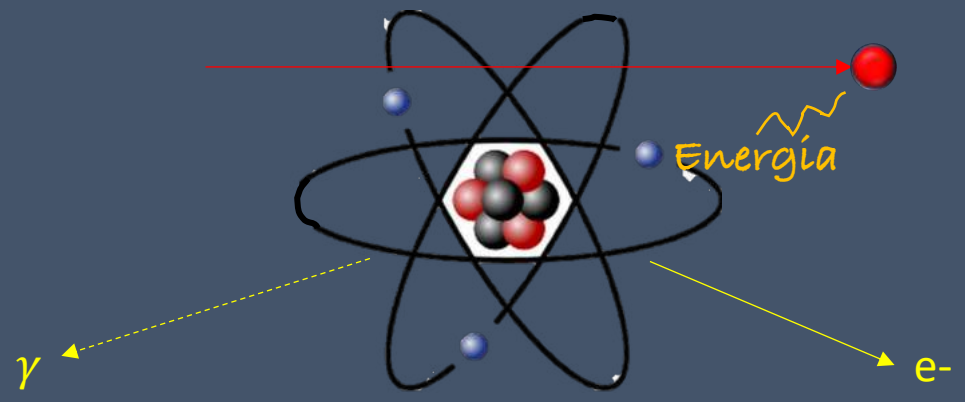
RADIOGRAFIA MUONICA

I muoni possono sopravvivere a centinaia di metri di roccia quindi sono perfetti per oggetti di grandi dimensioni

La Fisica

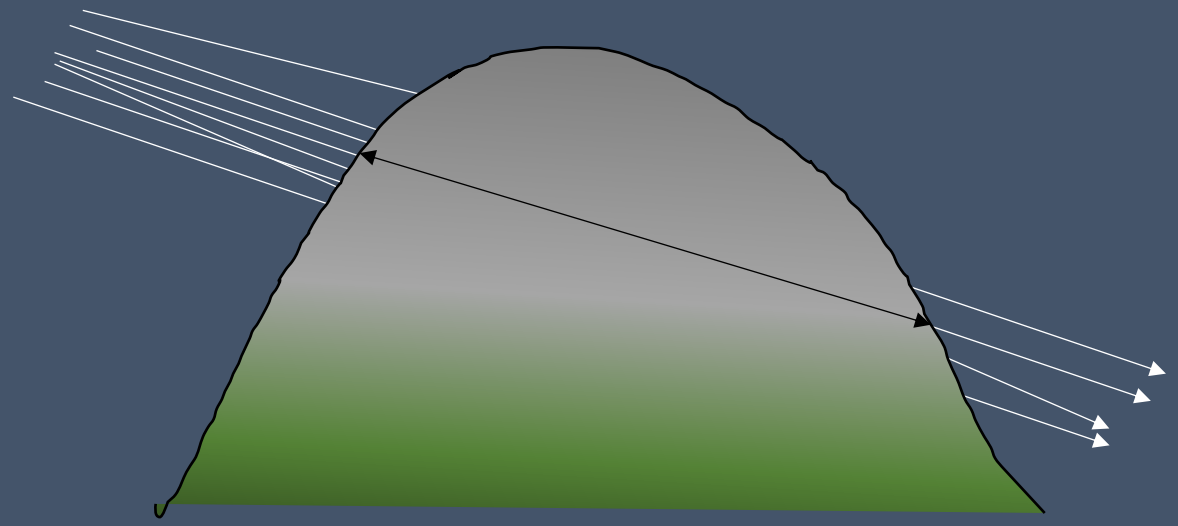
Come interagiscono i muoni con la materia:

ionizzano ed eccitano gli atomi, producendo elettroni e fotoni che utilizziamo per rivelare il muone



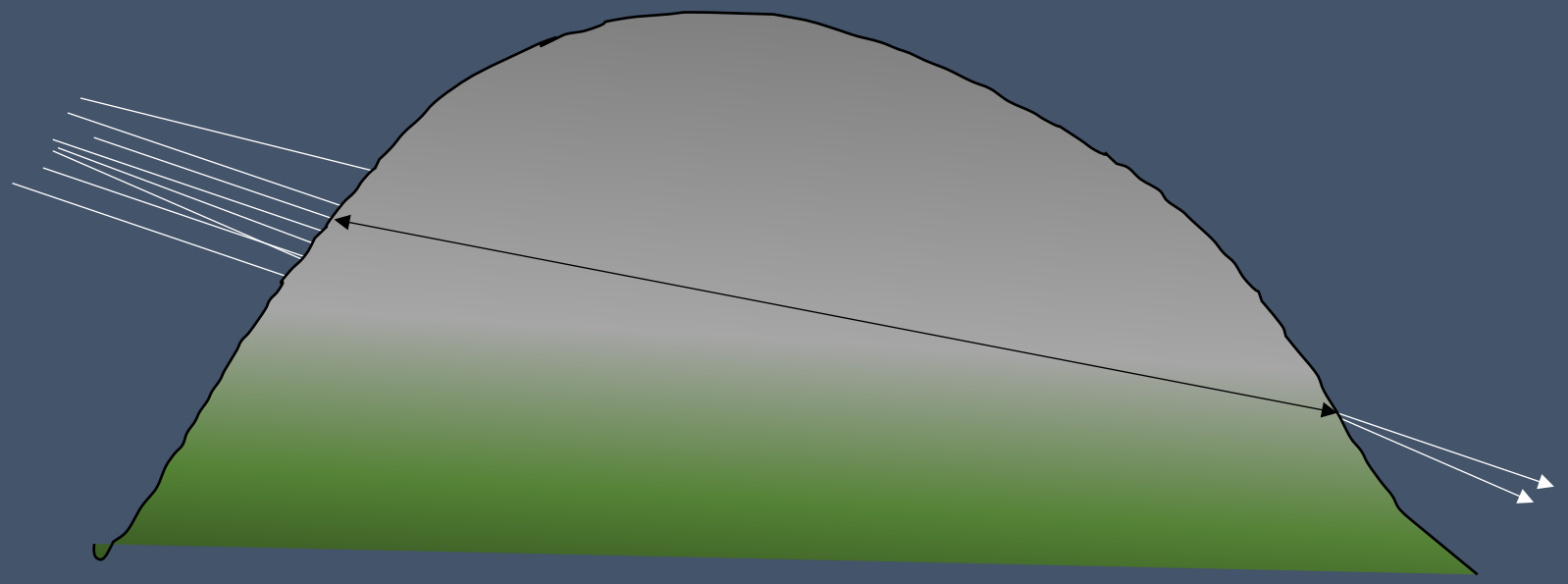
1. <u>Maggiore la densità della materia più interazioni avvengono</u>
2. Il muone interagendo perde energia - - > aumentando densità e spessore diminuisce la probabilità di uscita

La Fisica



Solo i muoni con energia sufficiente riusciranno a uscire dalla montagna

La Fisica



Maggiore lo spessore, maggiore energia minima, minore la probabilità di uscire

Outline

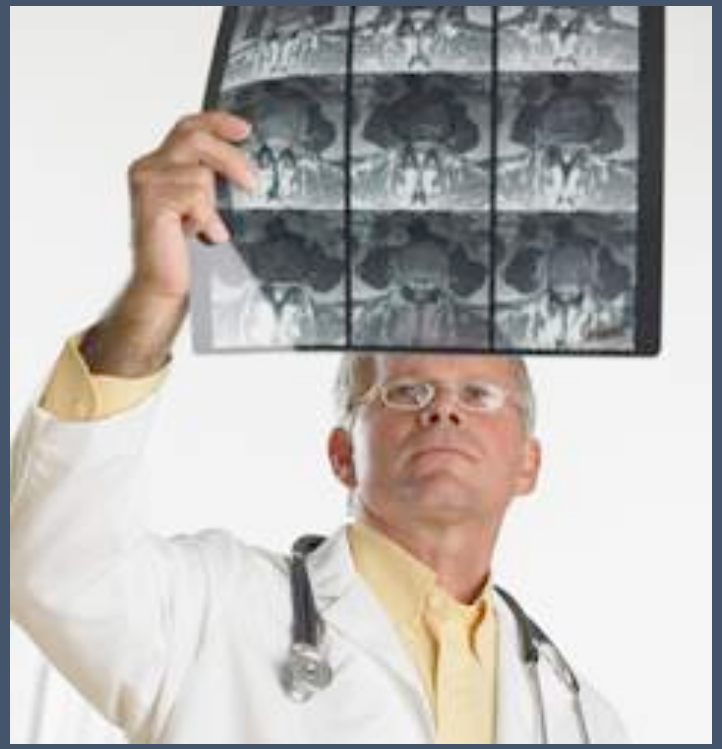
La Fisica

Gli Strumenti

Le Applicazioni

Gli Strumenti

Per ottenere la radiografia abbiamo bisogno di CONTARE le particelle che attraversano il corpo:



In radiografia classica la lastra fotografica viene impressionata dai fotoni, più è scura maggiore è il numero di fotoni che l'hanno raggiunta (minore la densità nella direzione corrispondente)

Gli Strumenti

E come vedere i muoni?

Diverse tecnologie, tutte tipiche della fisica delle particelle:

- Scintillatori plastici
- Rivelatori a gas
- Rivelatori Cherenkov

Rivelatori elettronici

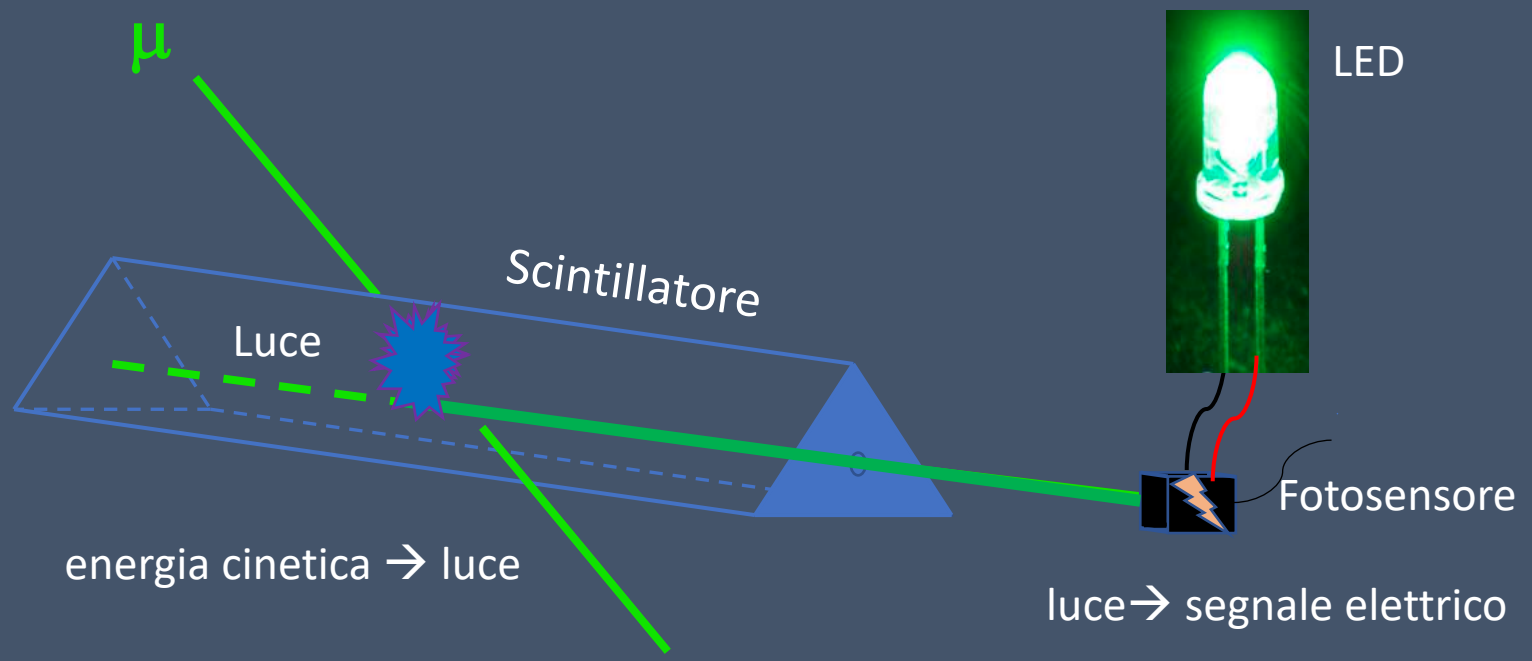
- Emulsioni nucleari

«Lastre fotografiche»

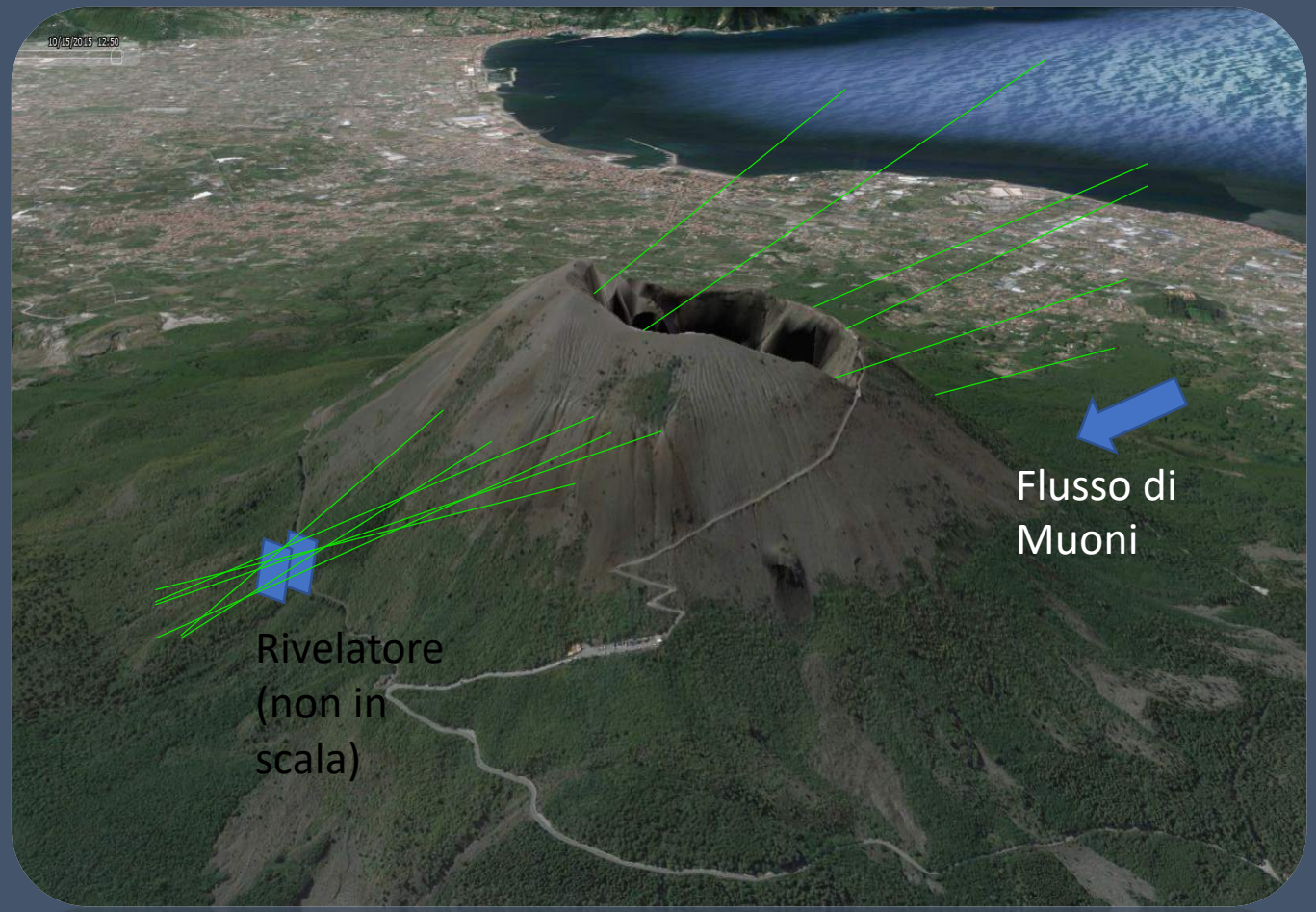
Gli Strumenti

E come vedere i muoni?

Meccanismo di rivelazione a scintillazione



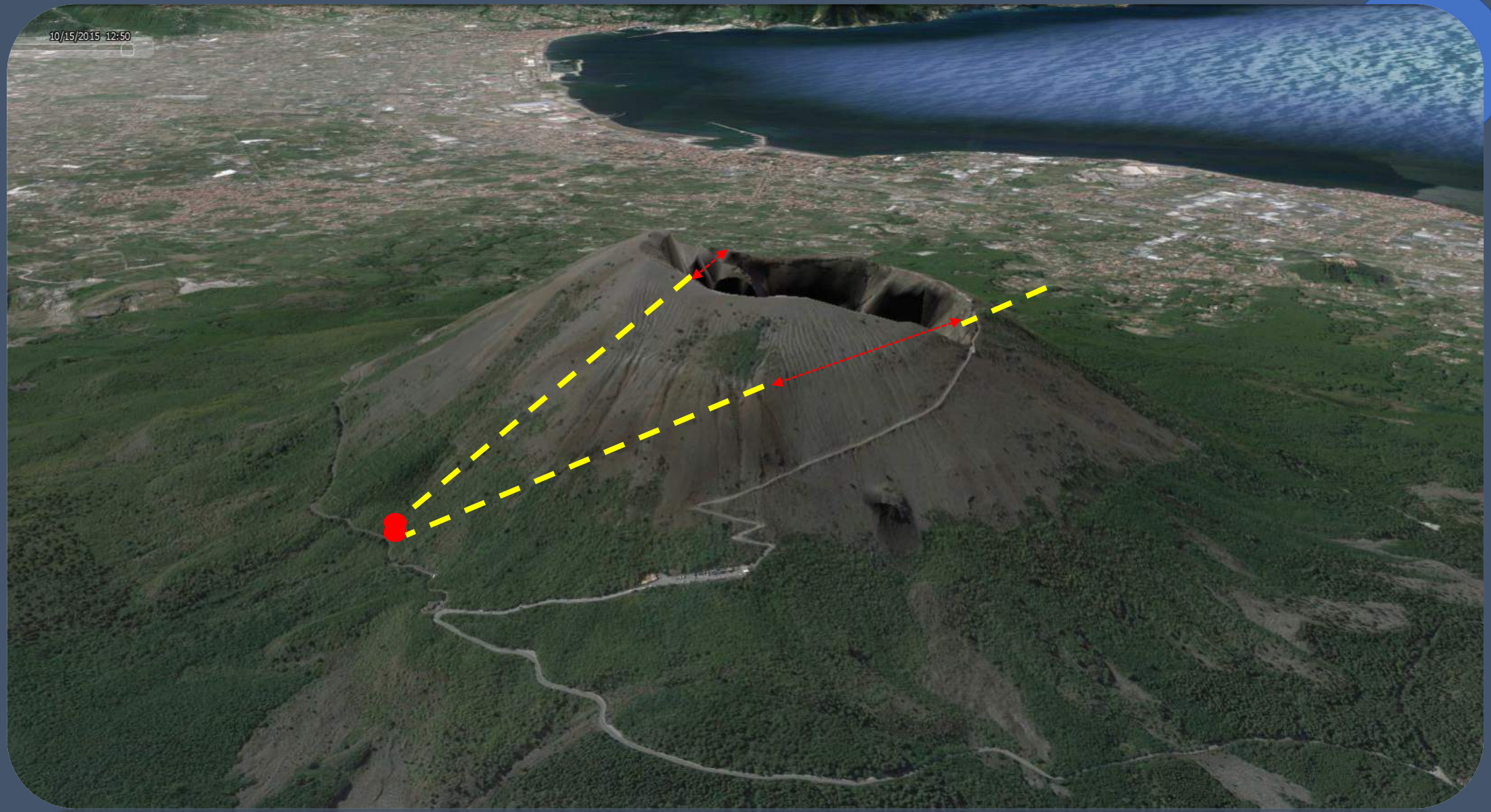
Gli Strumenti



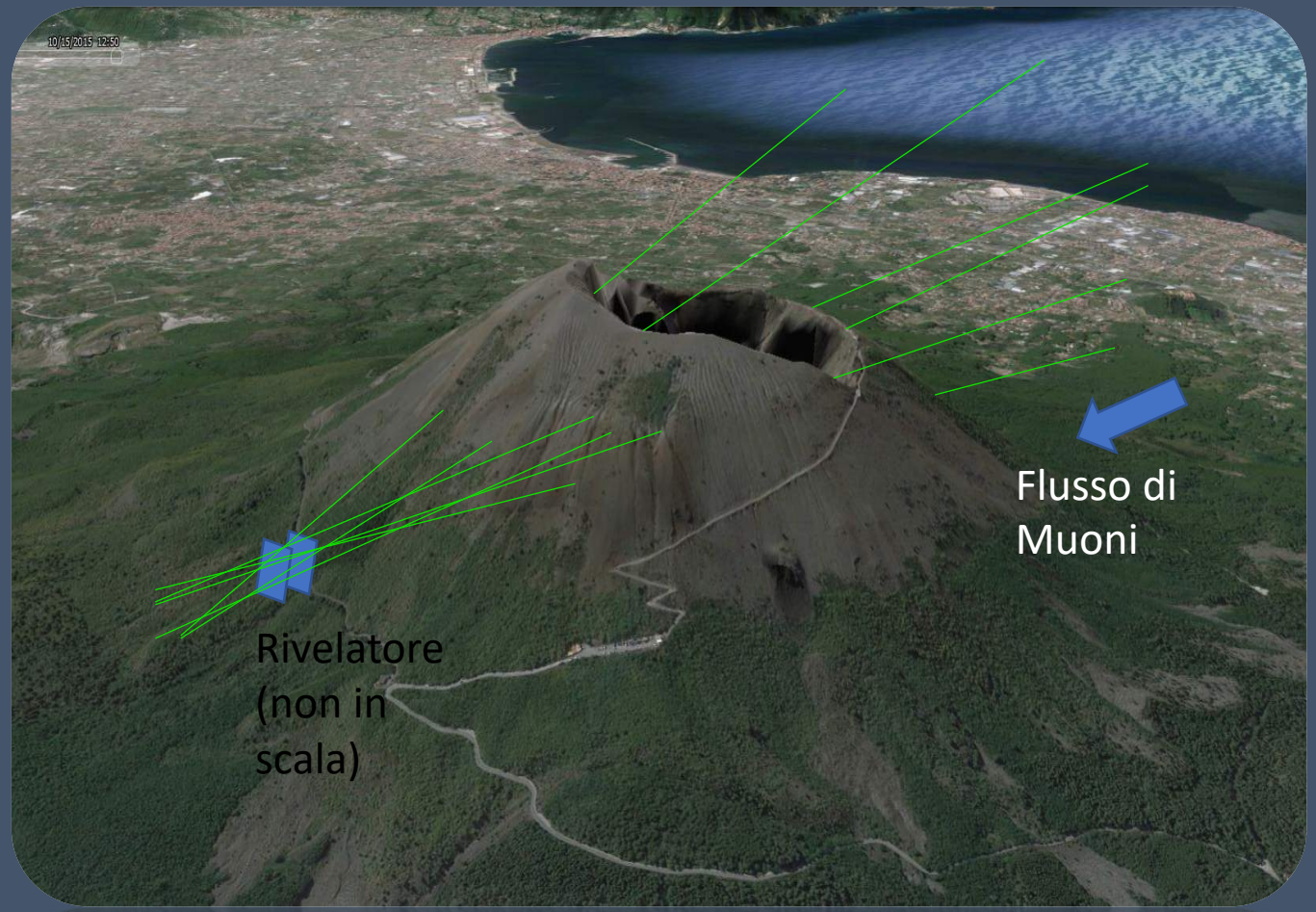
- A differenza dei fasci di fotoni nella radiografia a raggi X
- I raggi cosmici provengono da diverse direzioni

Ci serve risalire alla direzione per ottenere l'immagine!

10/15/2015 12:50
Questa direzione fornisce informazioni sulla densità in questa zona dell'oggetto


10/15/2015 12:50

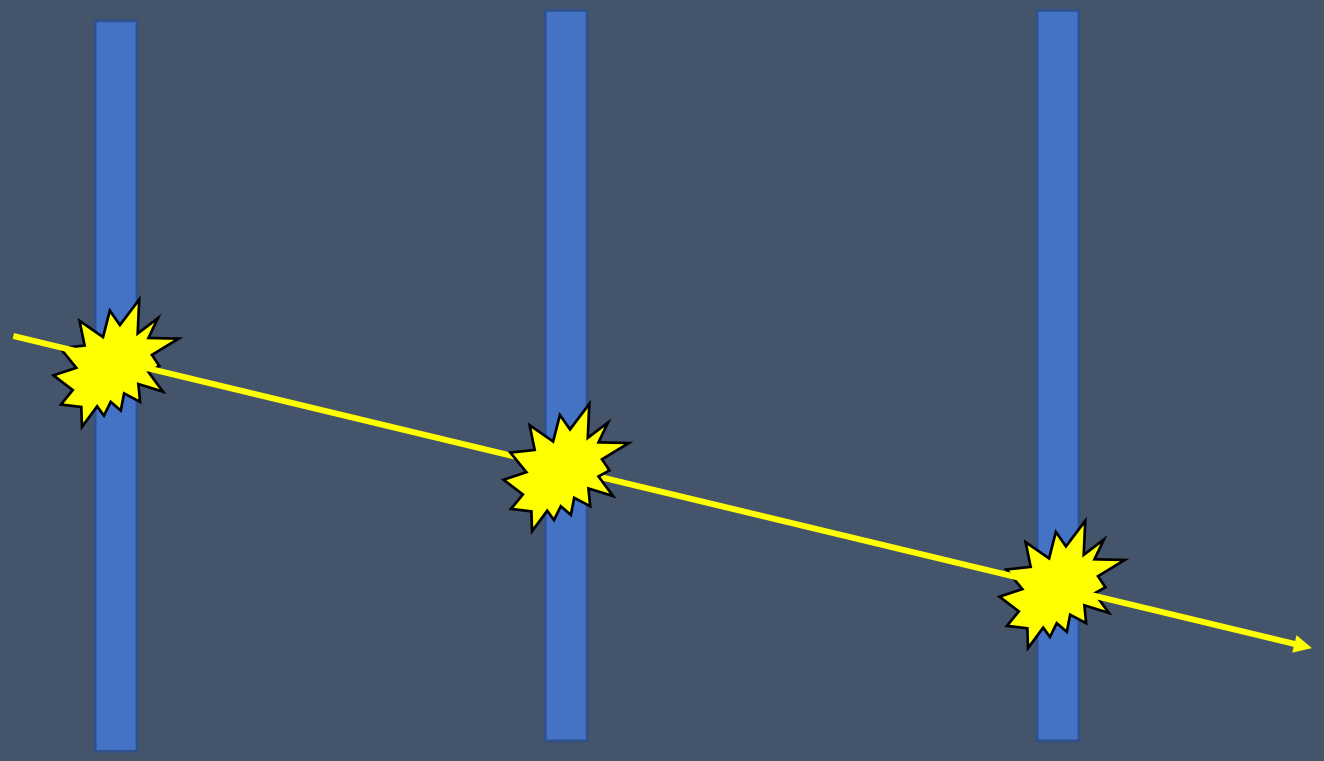
Gli Strumenti



Come si misura la direzione?

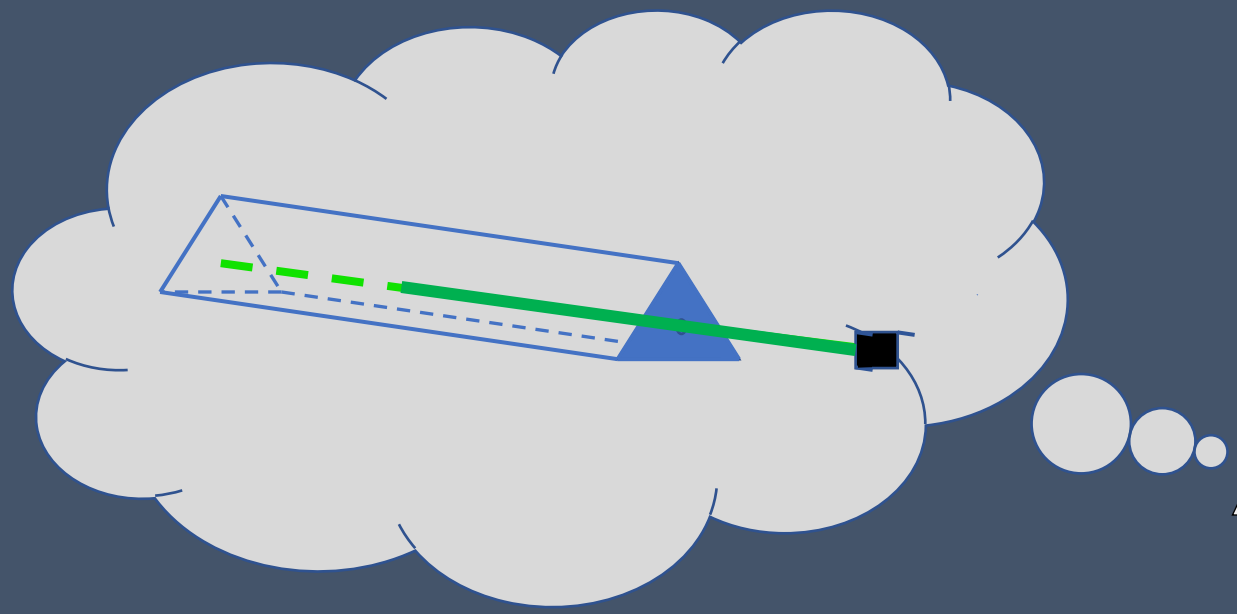
Il rivelatore deve essere un TRACCIATORE

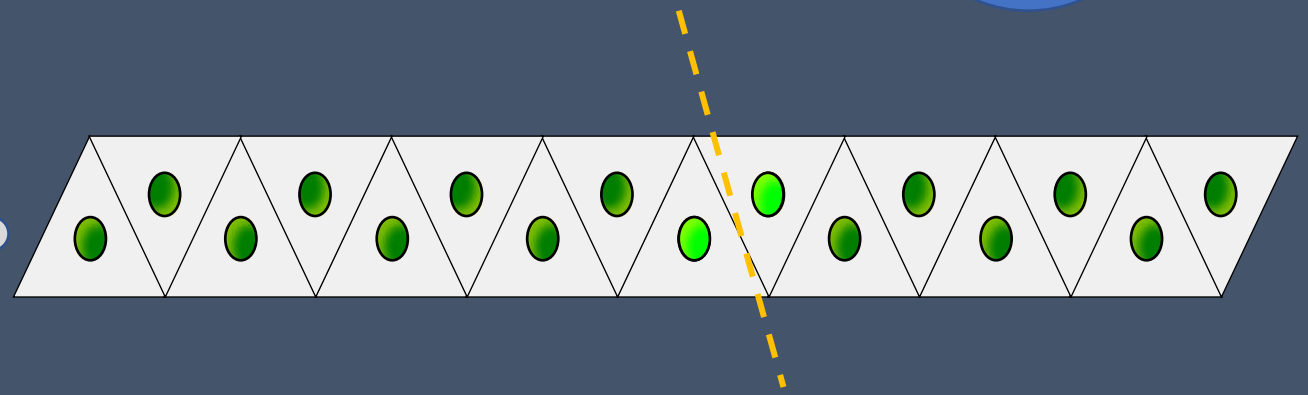
Gli Strumenti



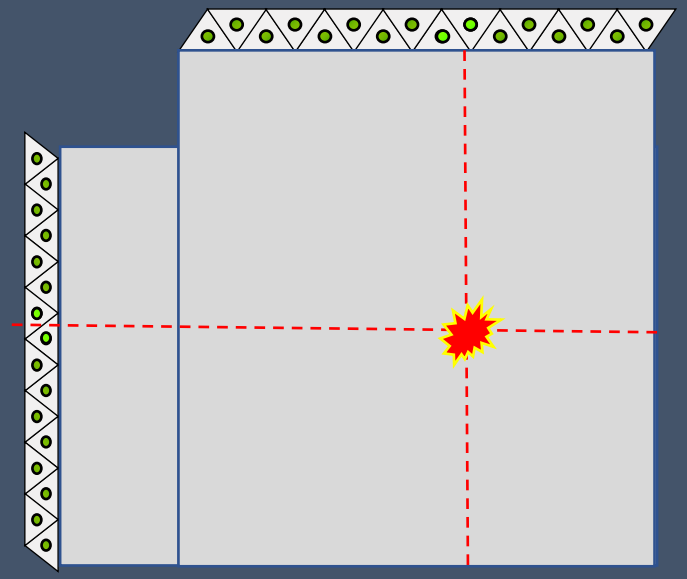
Misurando la posizione in cui la particella colpisce ogni piano si può ricostruire la sua direzione

Gli Strumenti



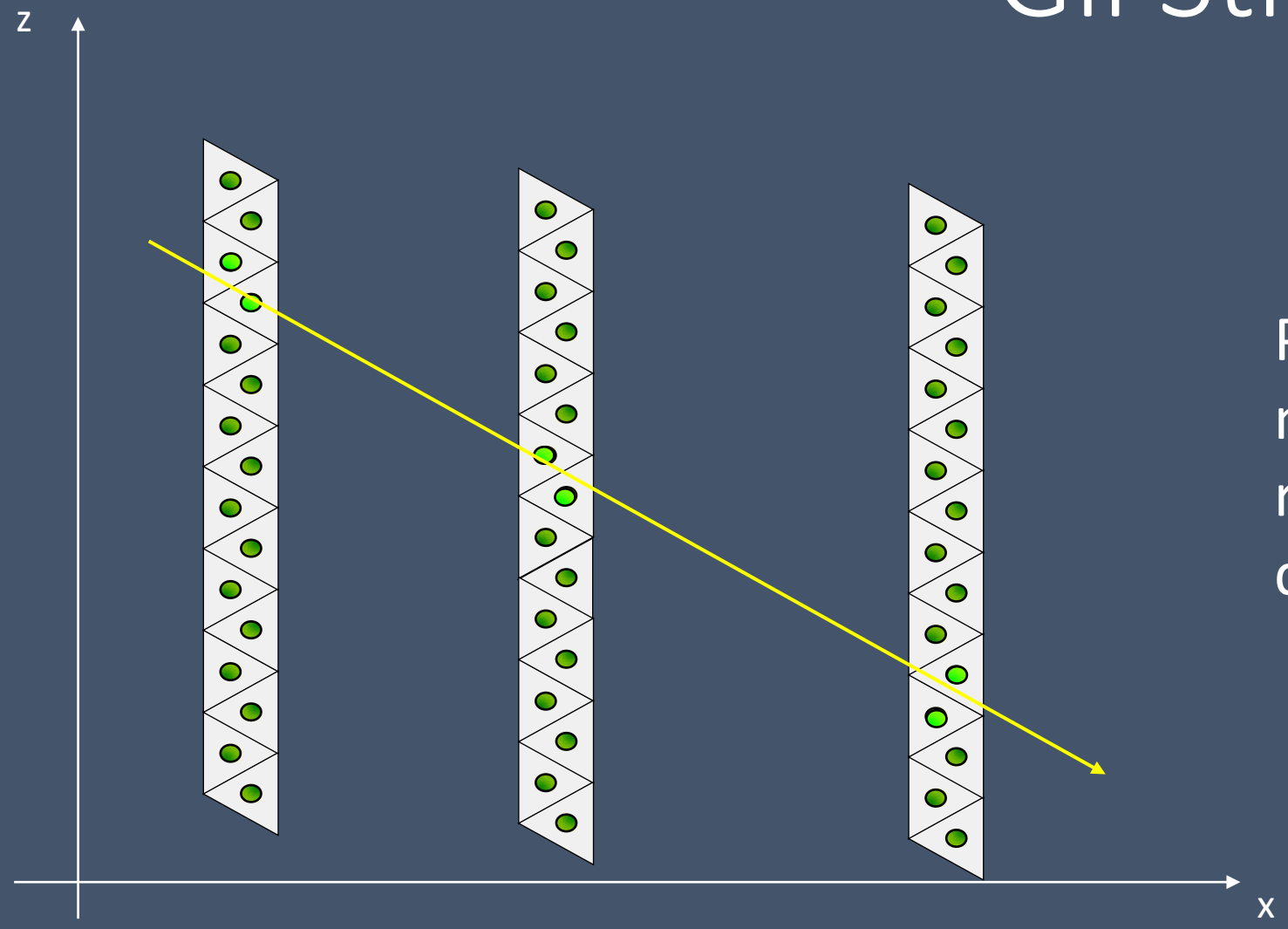


Piano tracciante: segmentato con più barrette di scintillatore
A seconda di quale barretta si «accende» si deduce la posizione di passaggio della particella



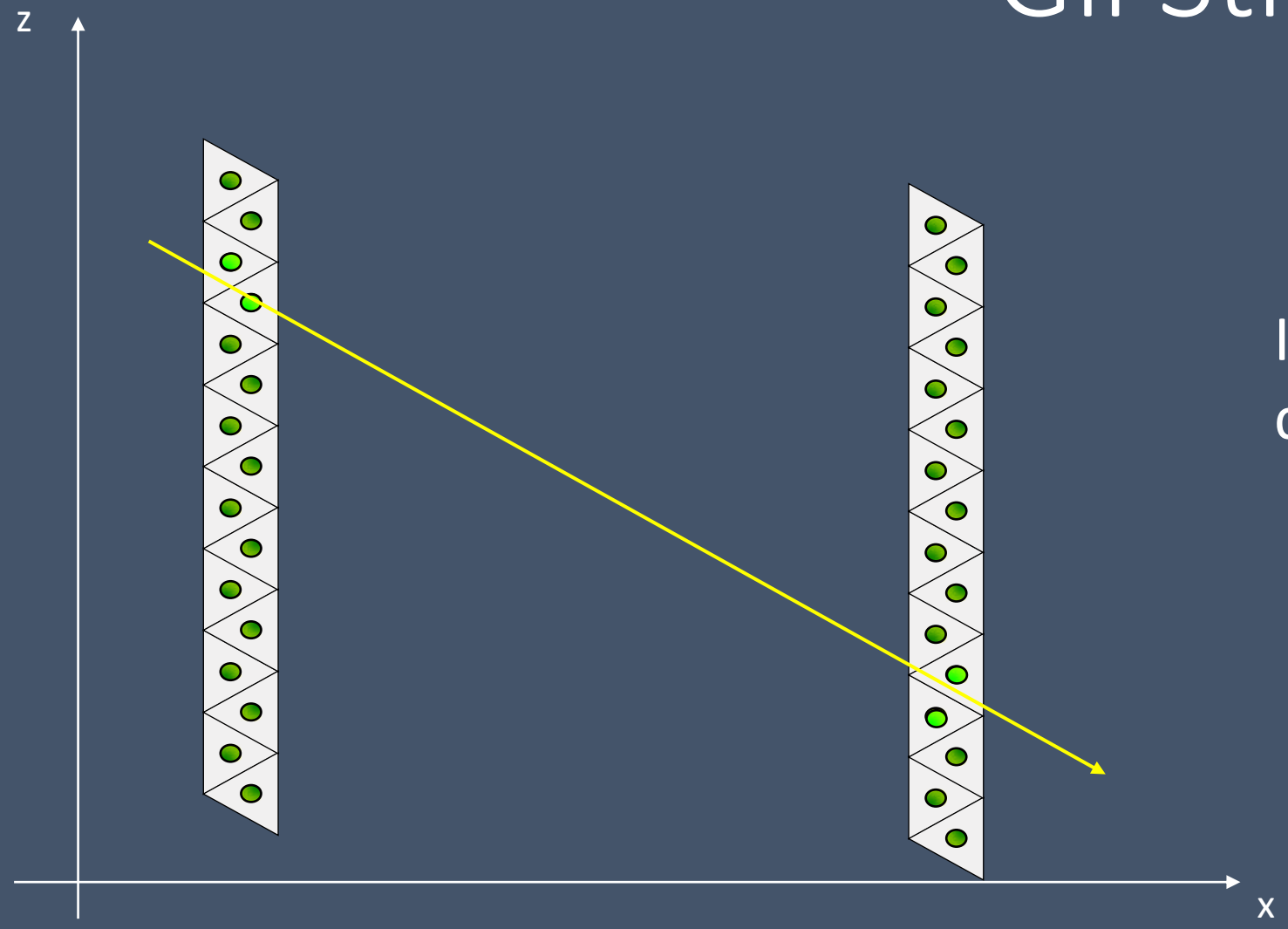
Con due piani messi ortogonalmente si ottiene la posizione bidimensionale della particella

Gli Strumenti



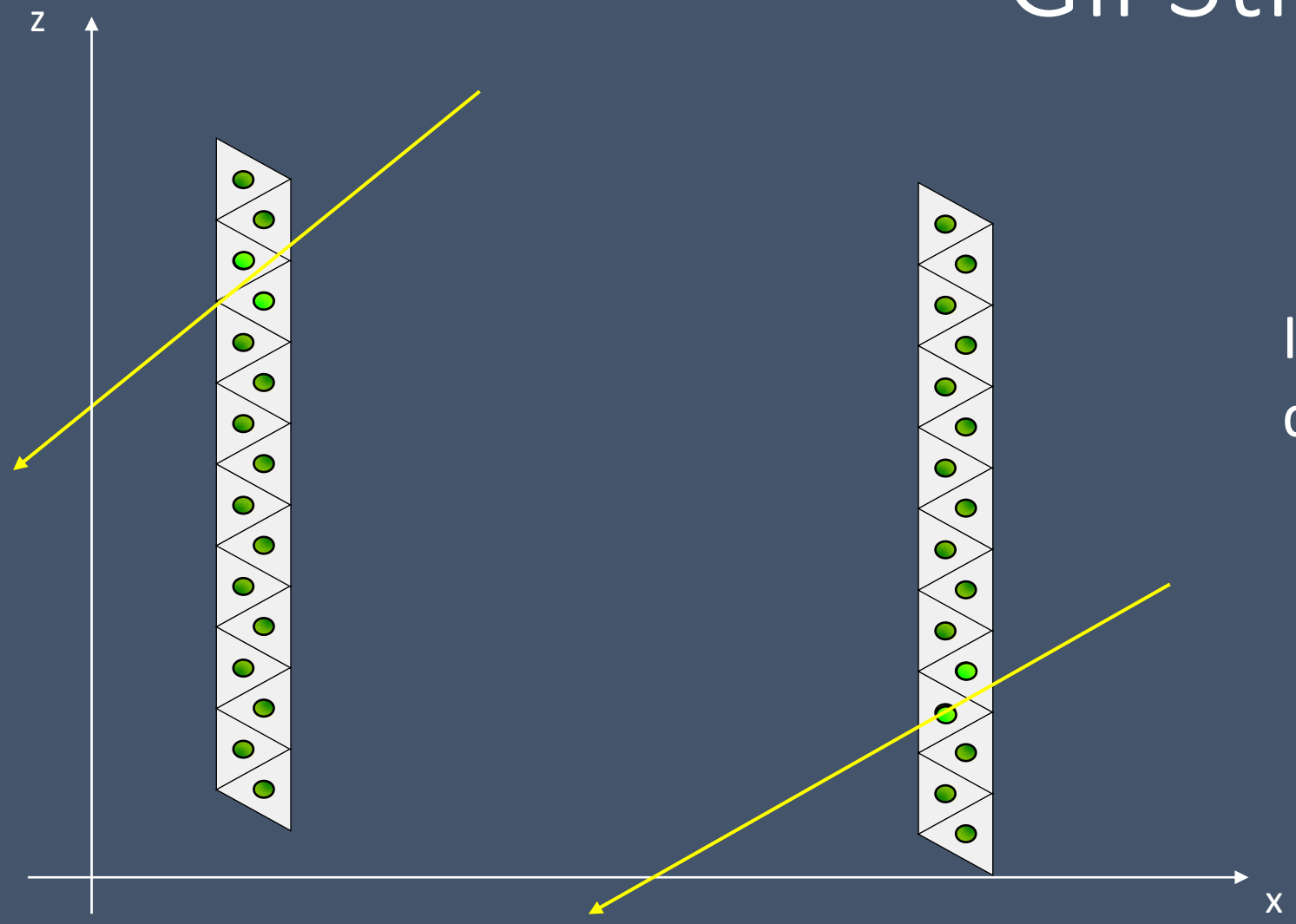
Partendo dai tre punti misurati sui tre piani, si ricostruisce la traiettoria della particella

Gli Strumenti



In teoria basterebbero due piani…

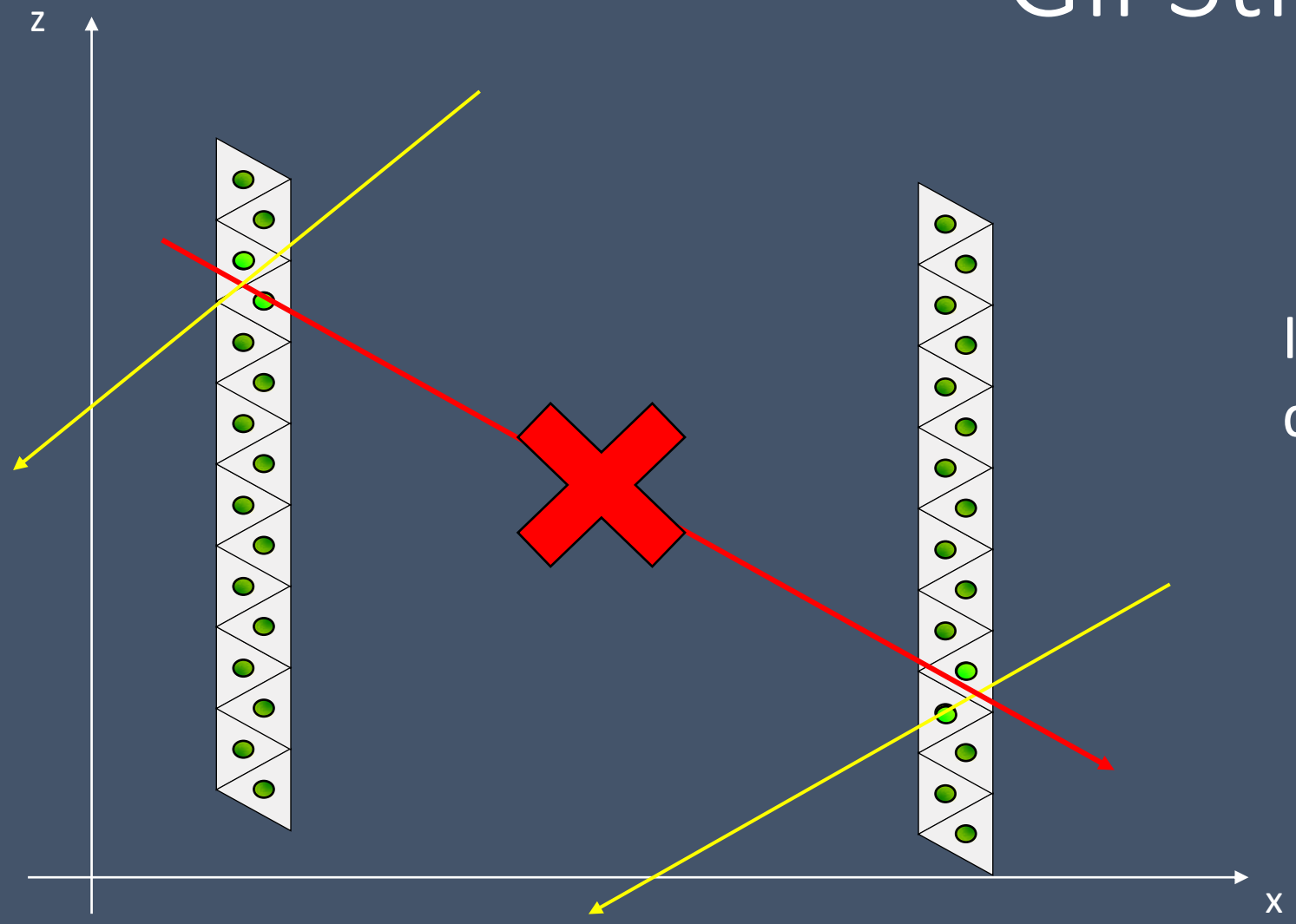
Gli Strumenti



In teoria basterebbero due piani…

Ma….

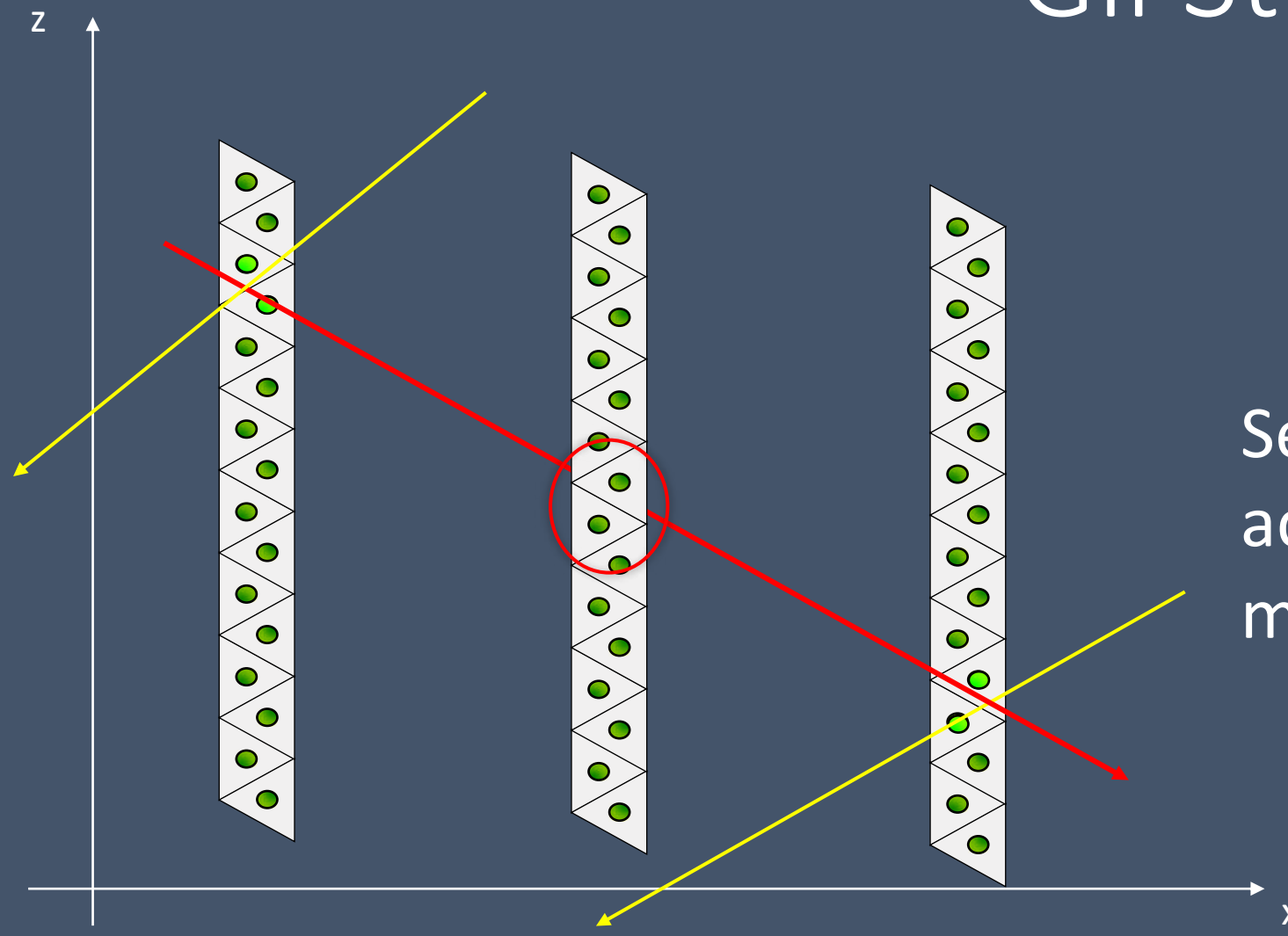
Gli Strumenti



In teoria basterebbero due piani…

Si possono generare tracce *fake*

Gli Strumenti



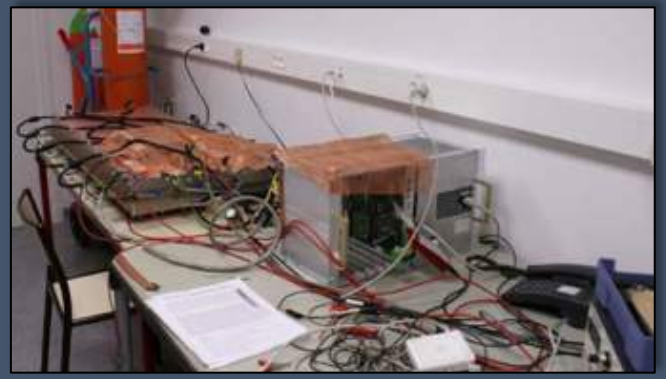
Se il piano centrale non si accende, non è un muone

Gli Strumenti

Alcuni esempi di tracciatori utilizzati…

MU-RAY - INFN

TANAKA -ERI



T2DM2
LSBB FR

INFN,
NAGOYA

TOMUVOL - IN2P3

Outline

La Fisica

Gli Strumenti

Le Applicazioni

Le Applicazioni

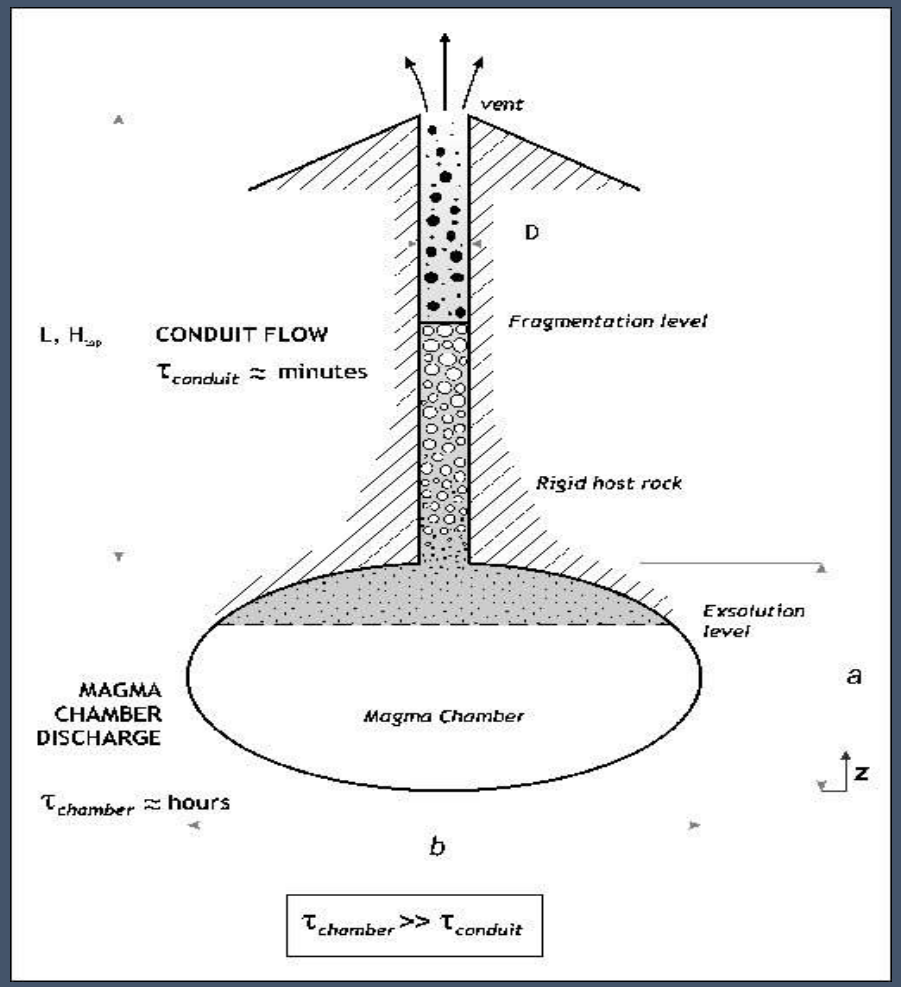
- Vulcanologia
- Archeologia
- Indagini del sottosuolo
- Cargo inspections

Le Applicazioni

- Vulcanologia
- Archeologia
- Indagini del sottosuolo
- Cargo inspections

Le Applicazioni

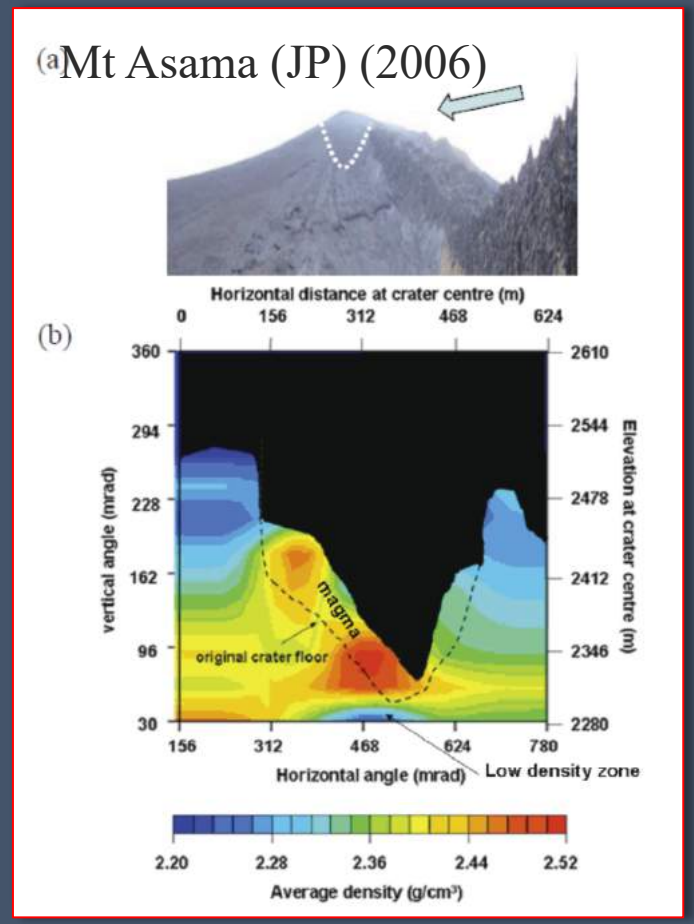
Perché i vulcani?

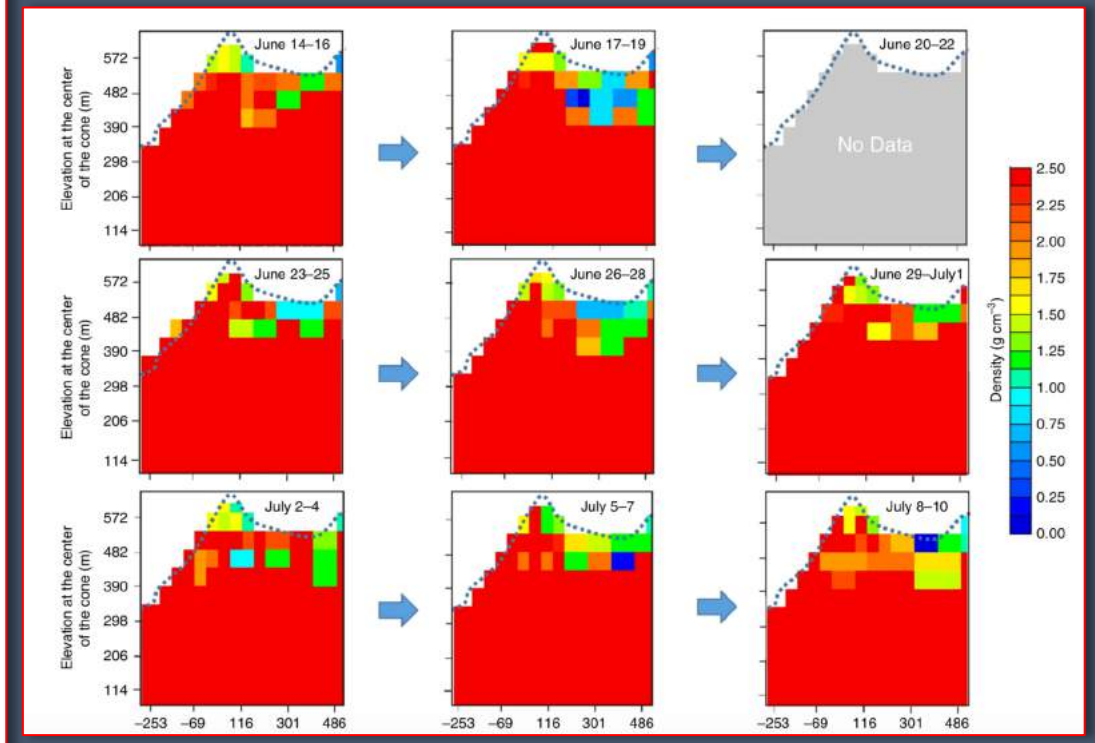


- Il sistema vulcano può essere approssimato ad un condotto collegato con la camera magmatica. Le dimensioni del condotto sono utili per la comprensione della dinamica
- In alcuni casi è possibile misurare la risalita del magma lungo il condotto
- Fornisce un'informazione sulla distribuzioni delle masse all'interno del cono.

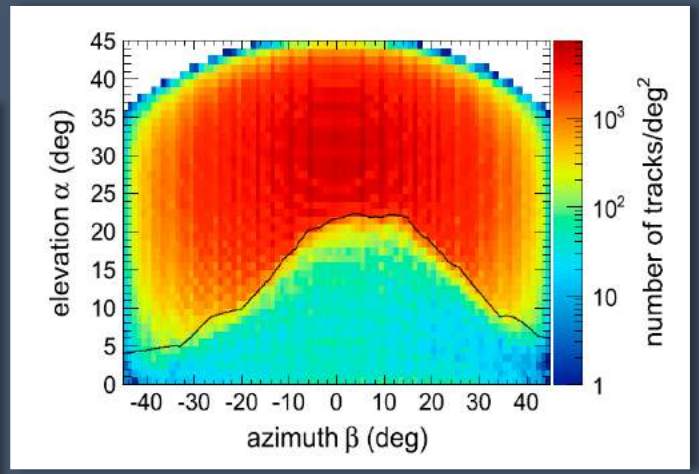
Le Applicazioni

….muografie vulcaniche nel mondo



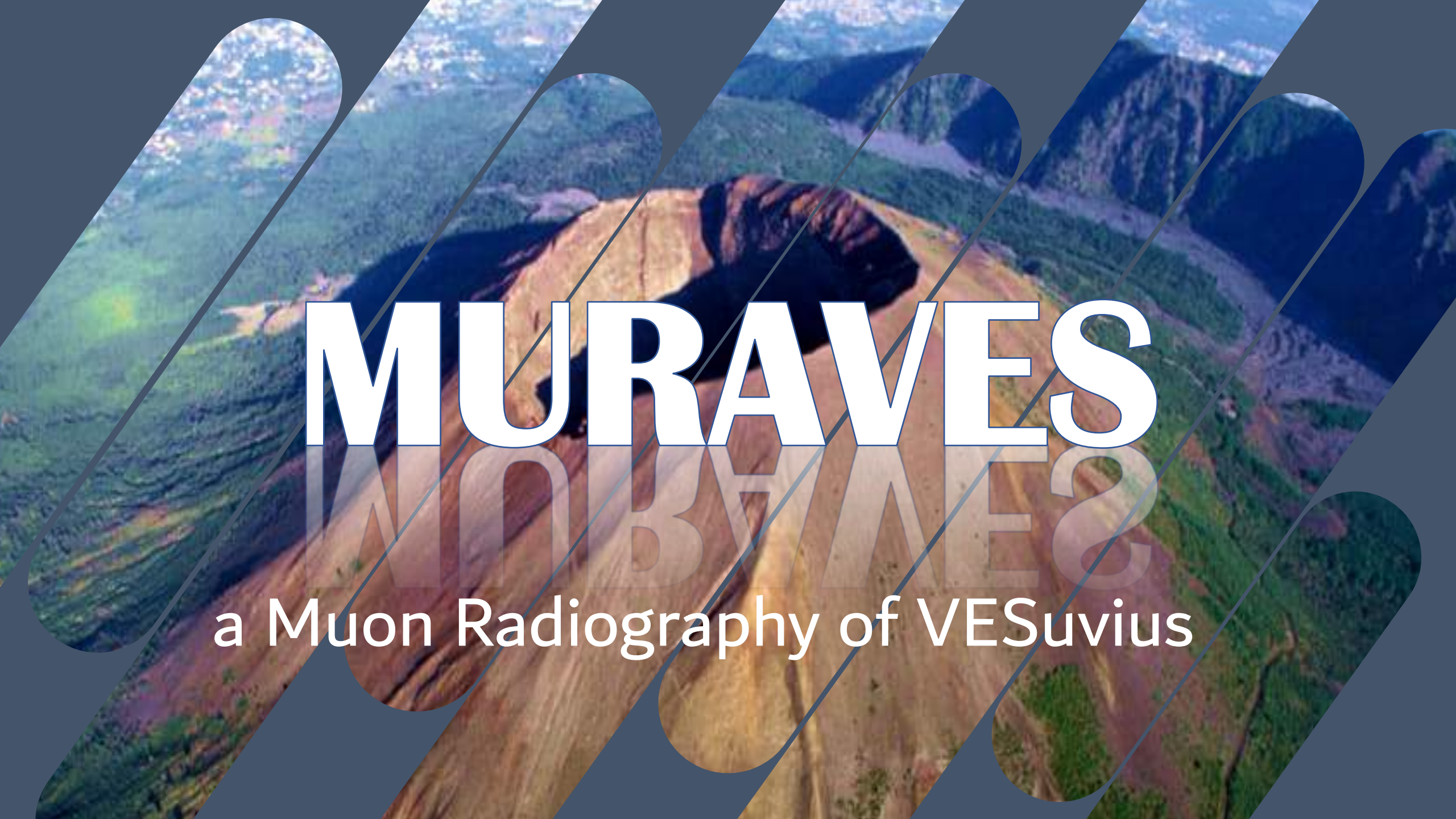


The Satsuma–Iwojima volcano erupt



Puy de Dôme

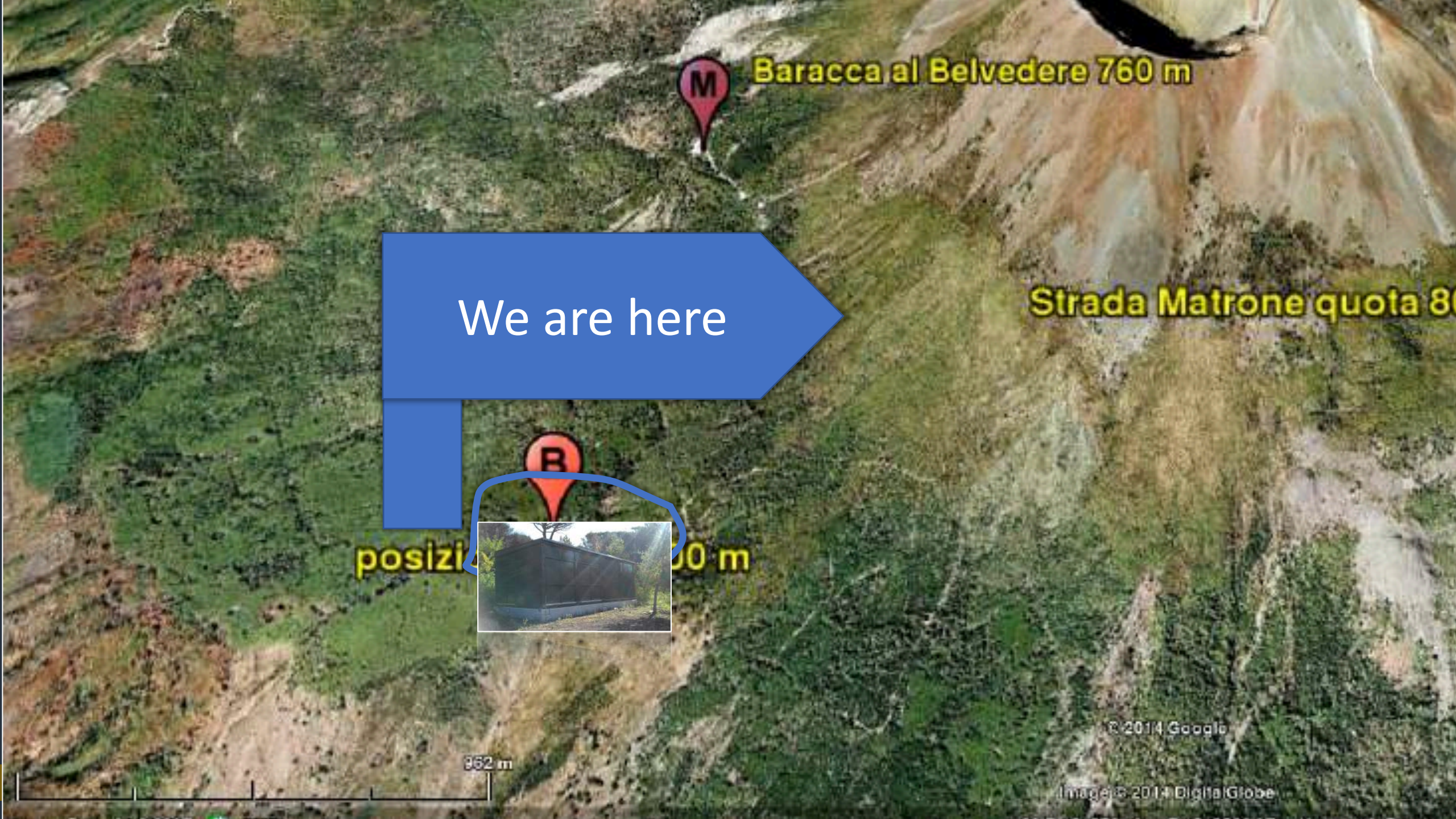
- Presa dati congiunta Muray - TOMUVOL
- Prima misura del flusso (= fondo…) oltre 1000 m di roccia



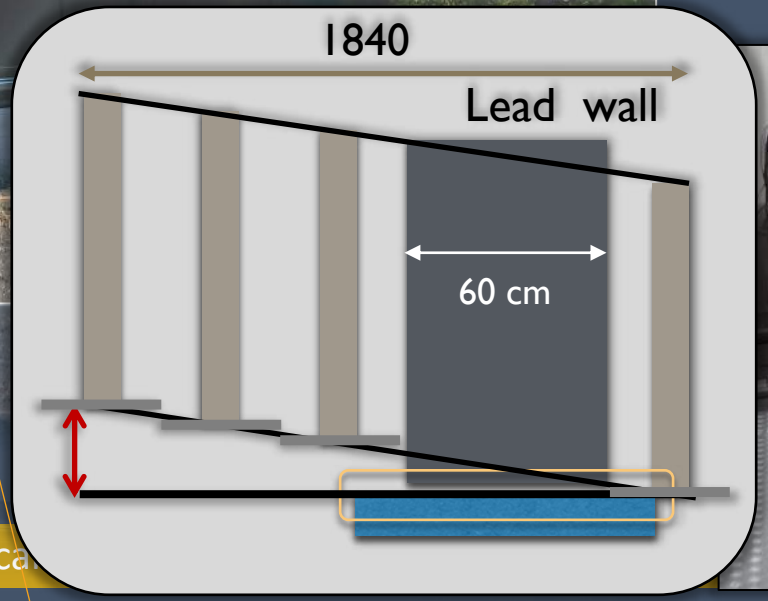
MURAVES

a Muon Radiography of VESuvius

Casina Imbo 970 m
A
Matrone quota 1057
A
B
Osservatorio Vesuviano quota 615
M
Baracca al Belvedere 760 m
Strada Matrone quota 802 m
M
B
posizione Nord 600 m
© 2014 Google
Image © 2014 DigitalGlobe
©2010 Google
352 m

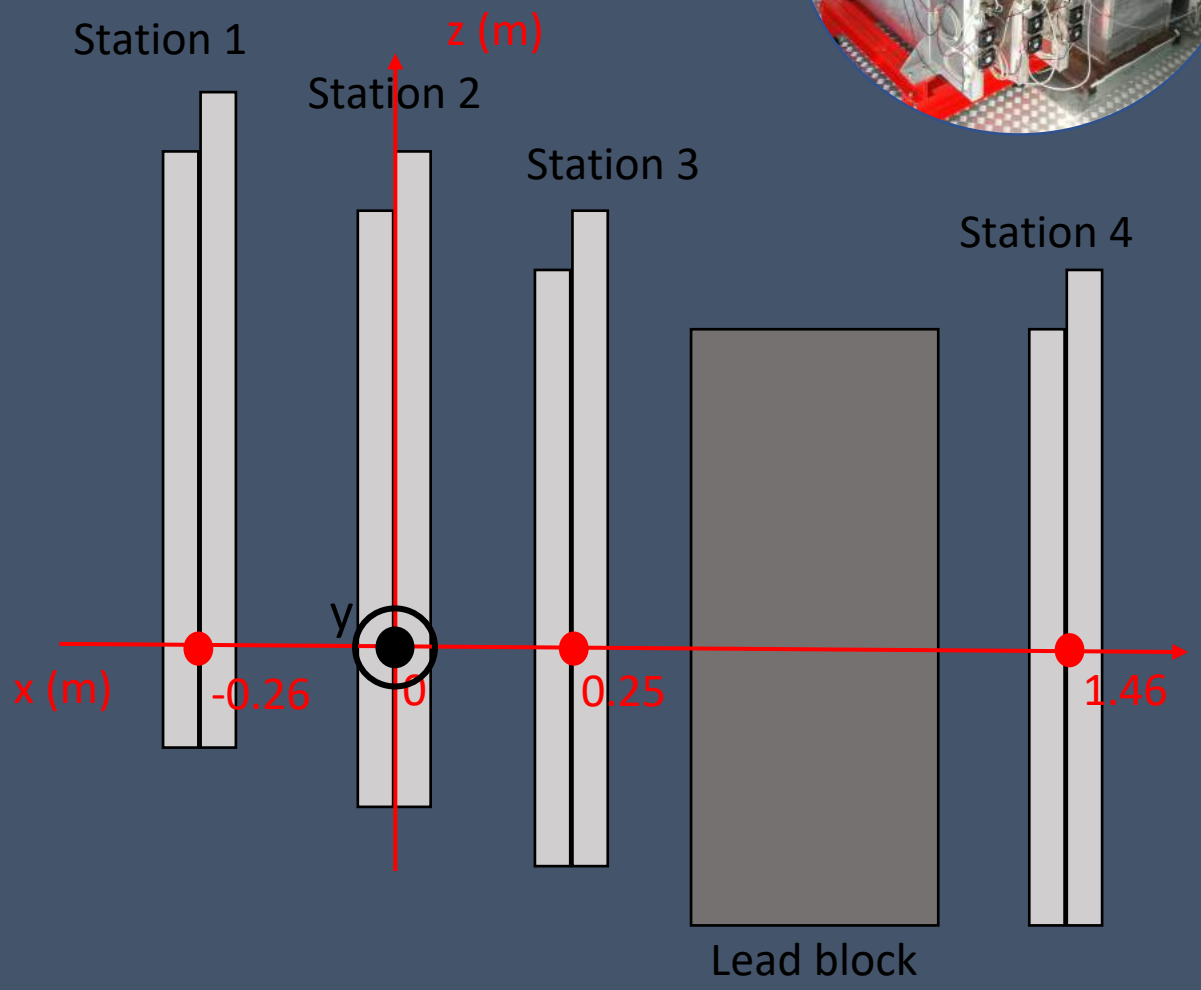

Baracca al Belvedere 760 m
Strada Matrone quota 8
We are here
posizi
0 m
352 m
© 2014 Google
Image © 2014 DigitalGlobe

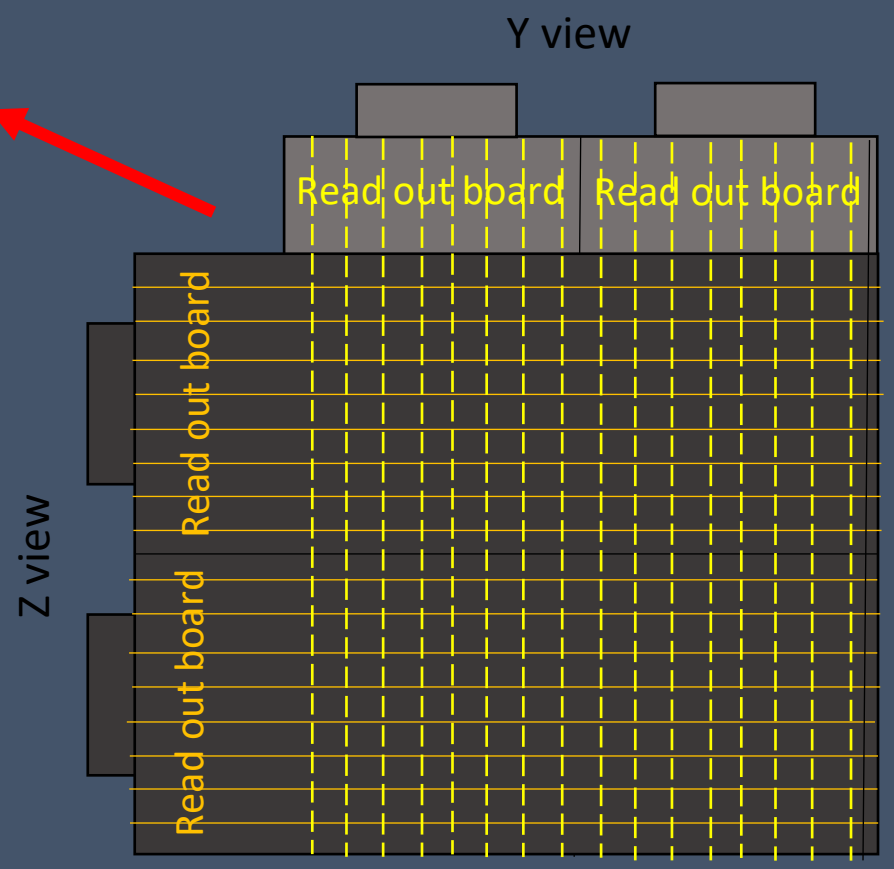
Le Applicazioni



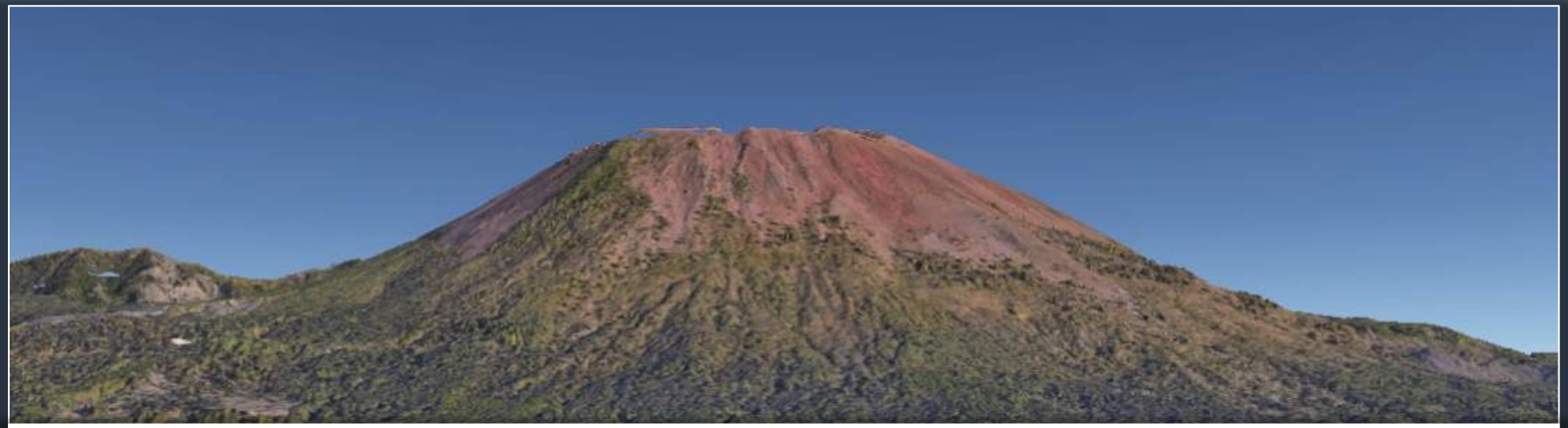
Le Applicazioni

RIVELATORE MURAVES

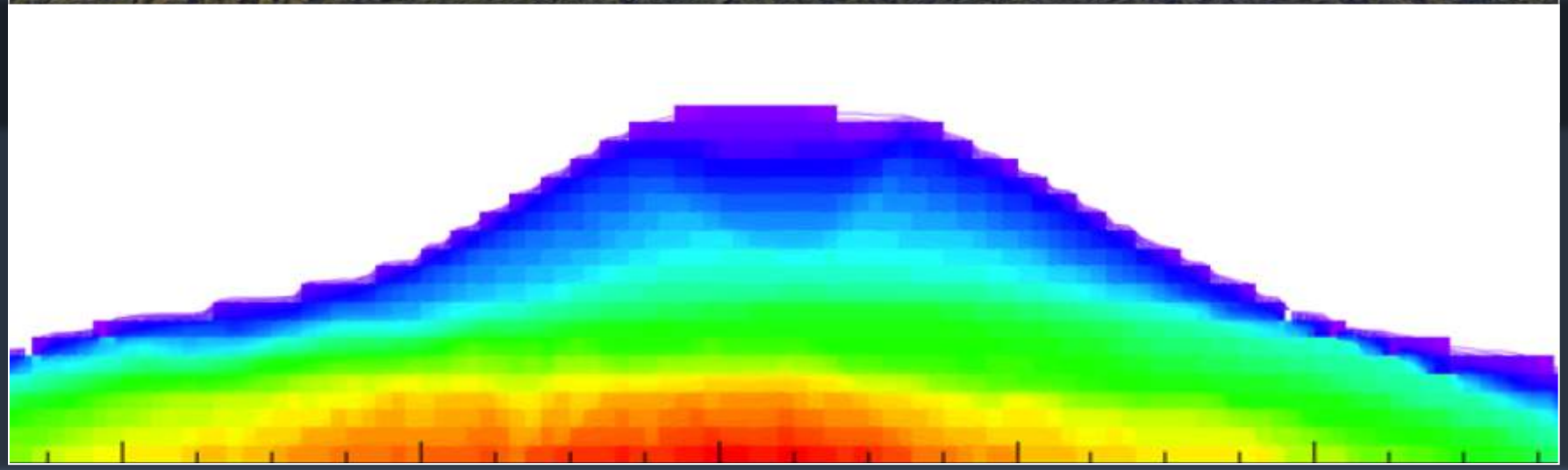




Le Applicazioni

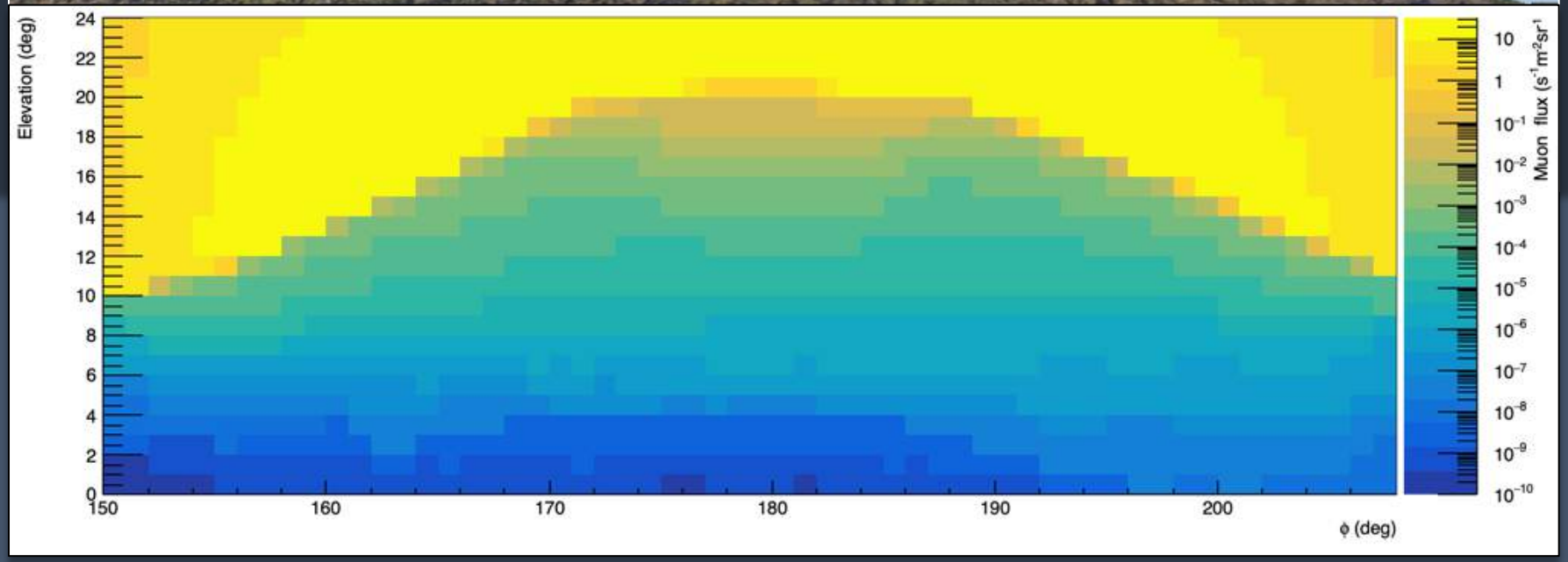


Come si vede il Vesuvio dal laboratorio



Spessori ricostruiti

Le Applicazioni



Come si vede il Vesuvio dal laboratorio

Flussi attesi

Le Applicazioni

Emulsioni@Stromboli

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

Le Applicazioni

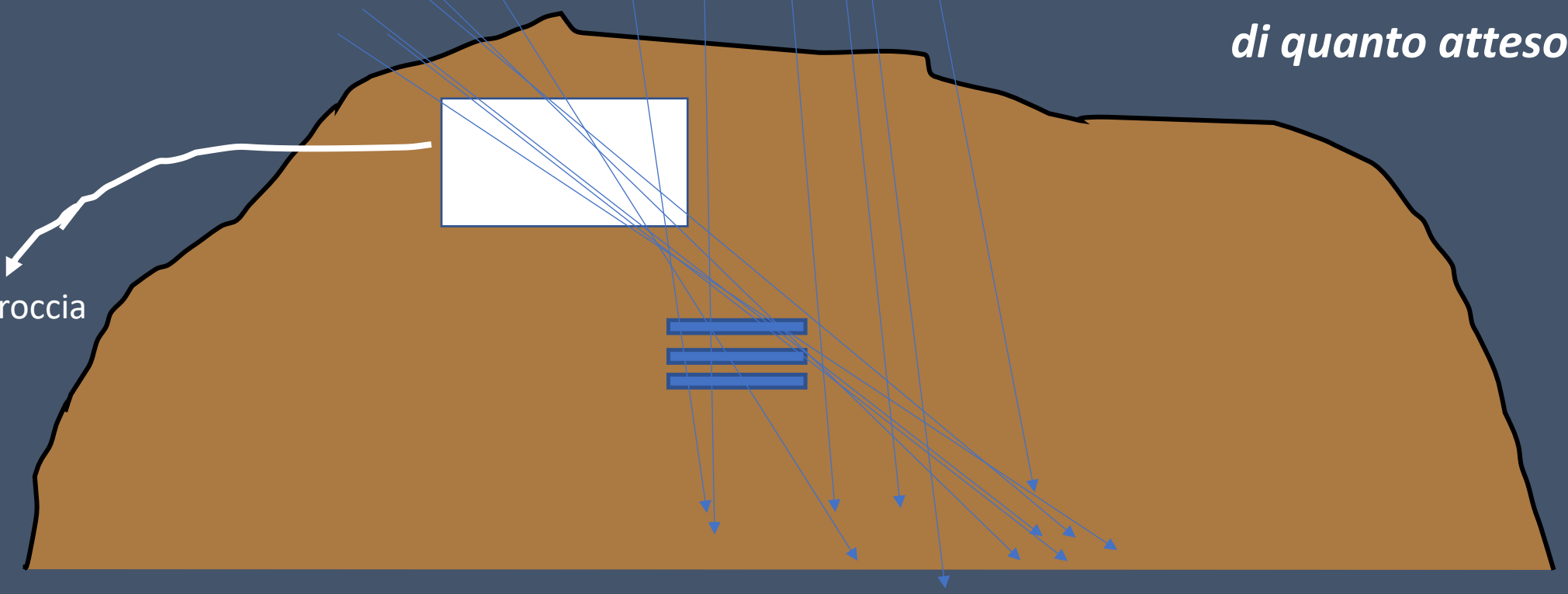
- ~~Vulcanologia~~
- Archeologia
- Indagini del sottosuolo
- Cargo inspections

Le Applicazioni

Flusso di muoni e cavità

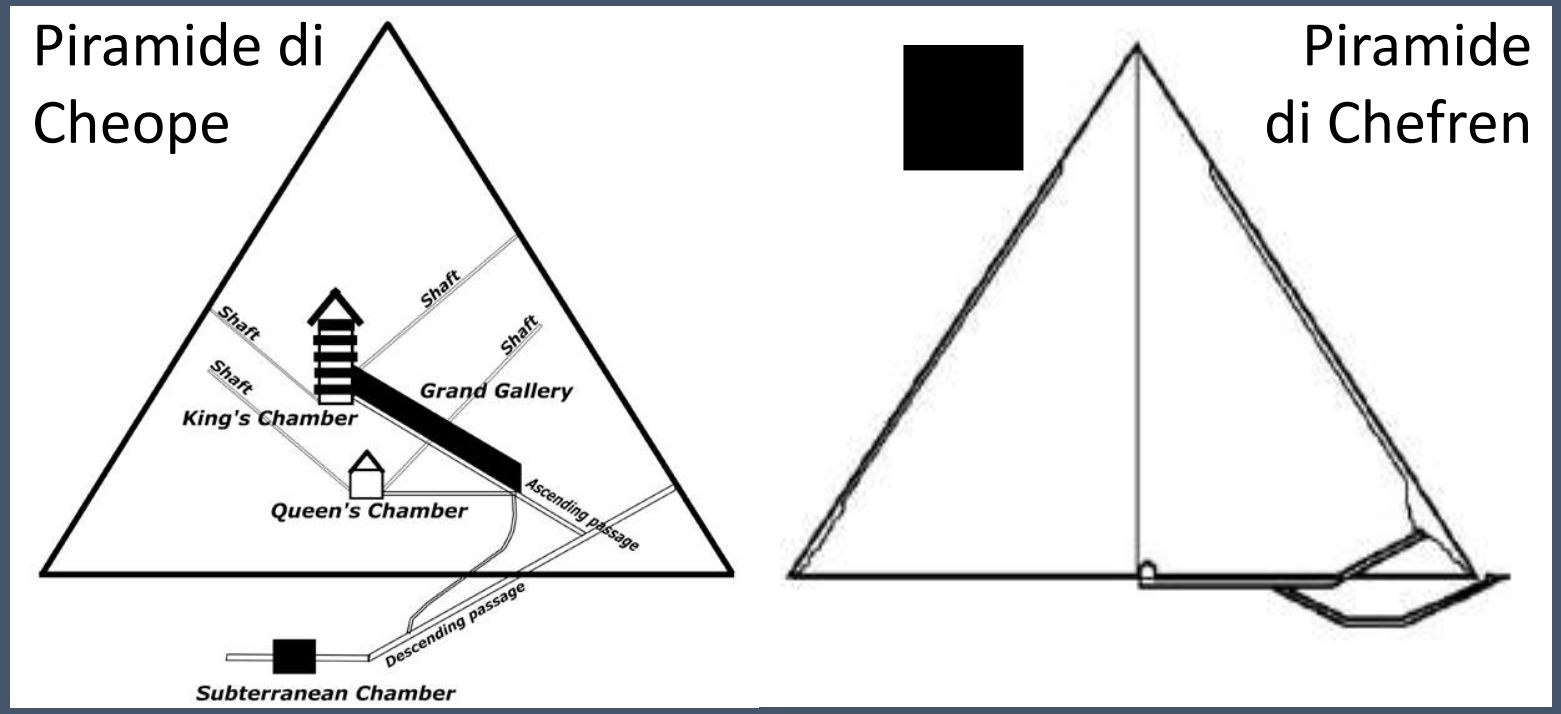
Se i muoni incontrano una cavità nel loro percorso, attraversano meno roccia

Assorbimento minore di quanto atteso!



Le Applicazioni

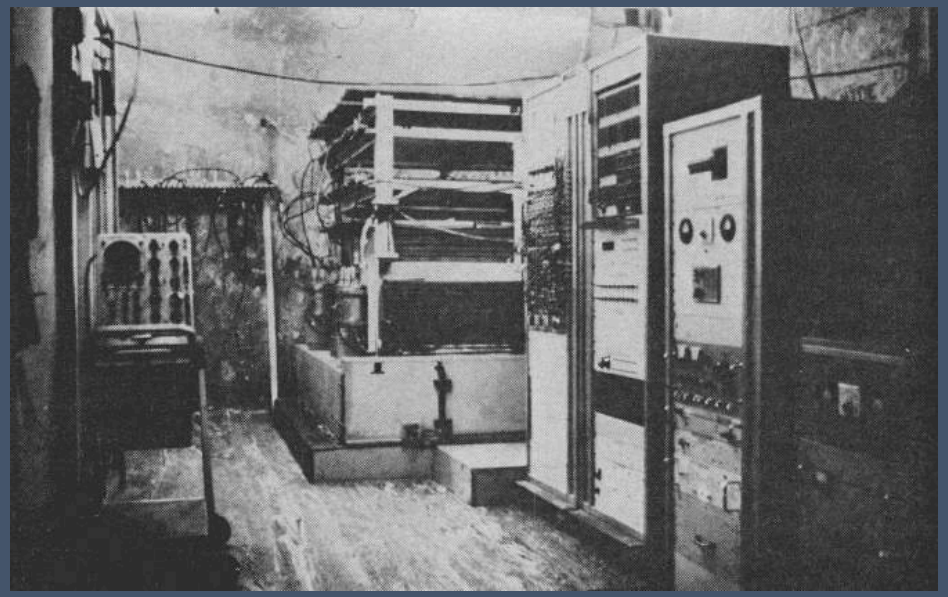
L’affascinante mistero delle piramidi… dal 1970

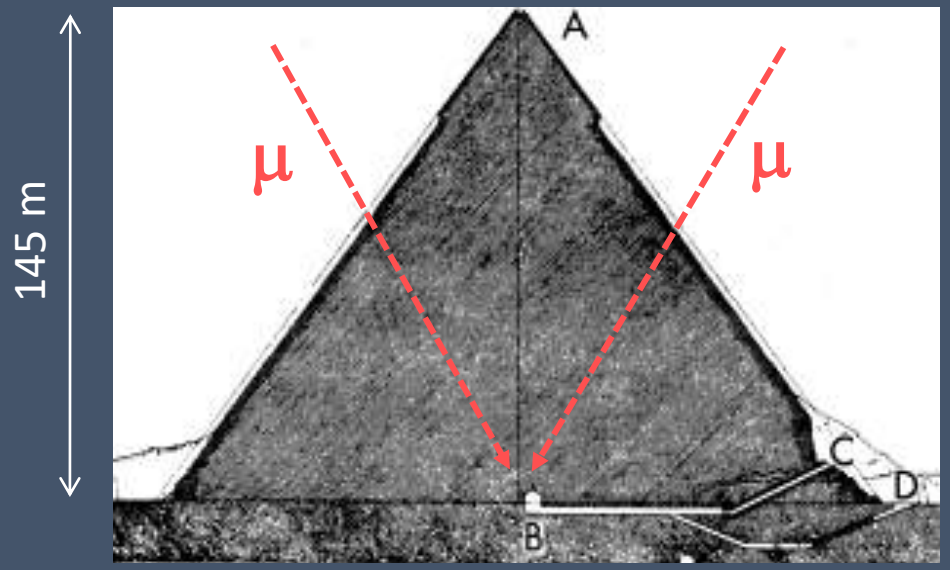


Le due piramidi sono esternamente molto simili. Non altrettanto lo sono all'interno. Forse c'è una camera non ancora scoperta?

Le Applicazioni

Primo tentativo fu condotto dal premio Nobel L. Alvarez nel 1970





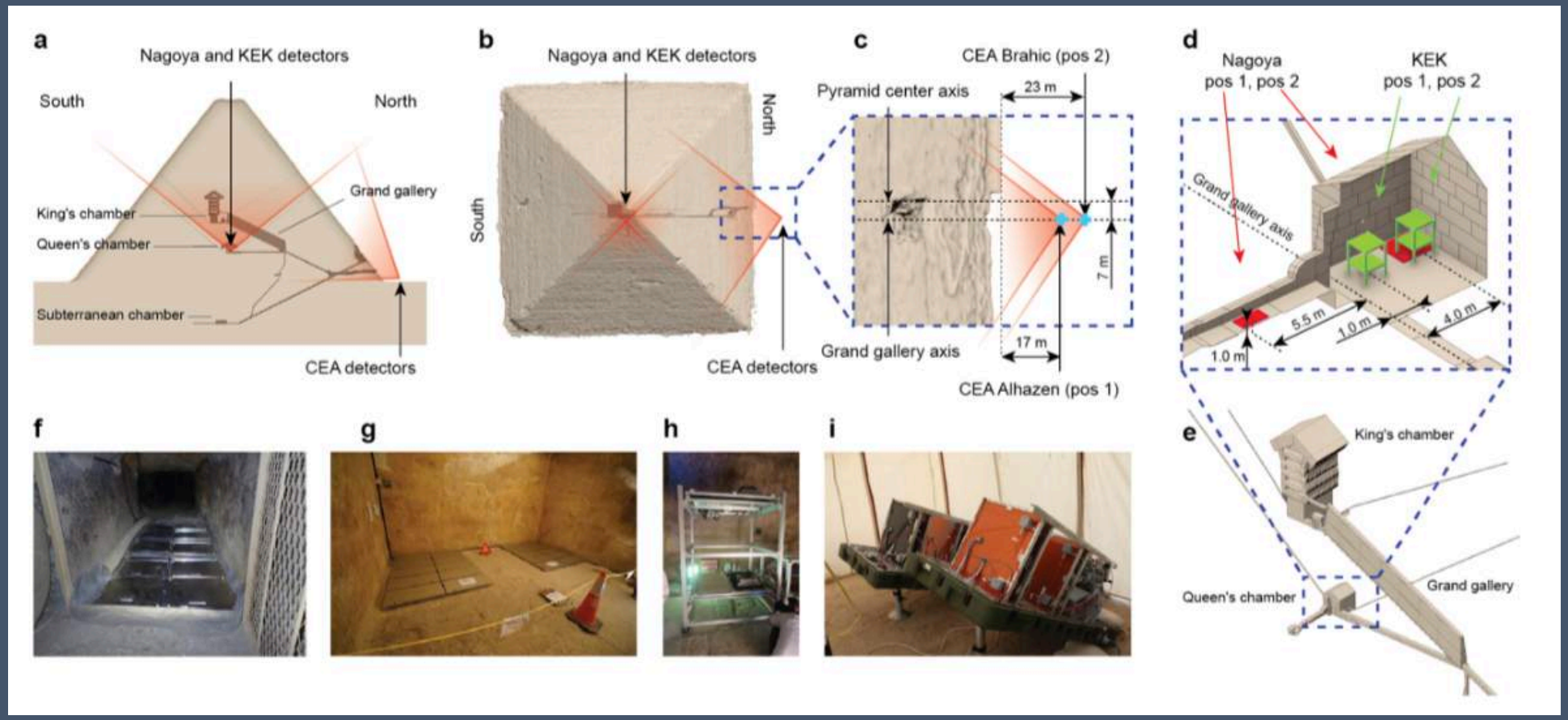
Installò un rivelatore nella stanza di Belzoni, alla base della piramide

Nessuna evidenza di una camera, almeno nel volume esplorato (solo il 19% dell'intero volume) -> Ma pur sempre una scoperta!

«No chambers with volumes similar to the known chambers in Cheops's and Snereru's pyramids exist in the mass of limestone investigated by cosmic-ray absorption» - Luis Alvarez

Il progetto SCAN PYRAMIDS MISSION

Le Applicazioni

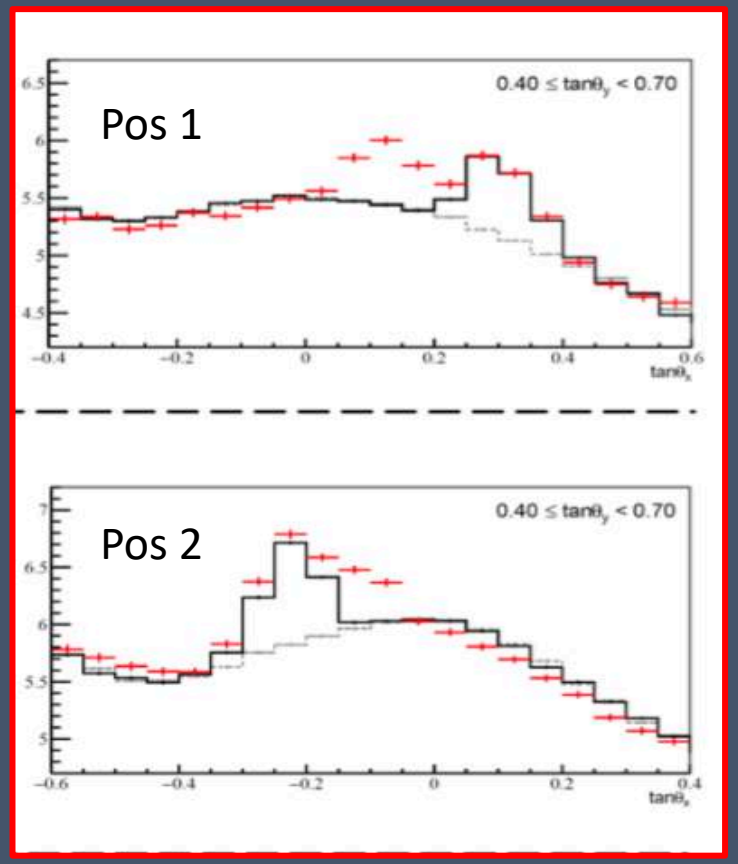


Tre differenti tecnologie utilizzate: emulsioni nucleari, scintillatori e rivelatori a gas

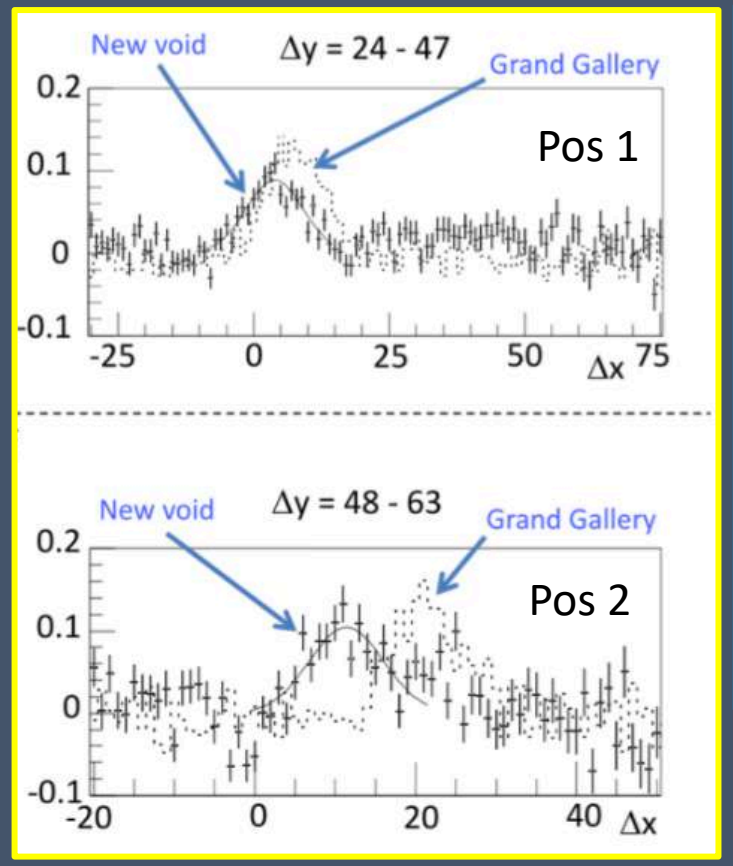
Il progetto SCAN PYRAMIDS MISSION

Le Applicazioni

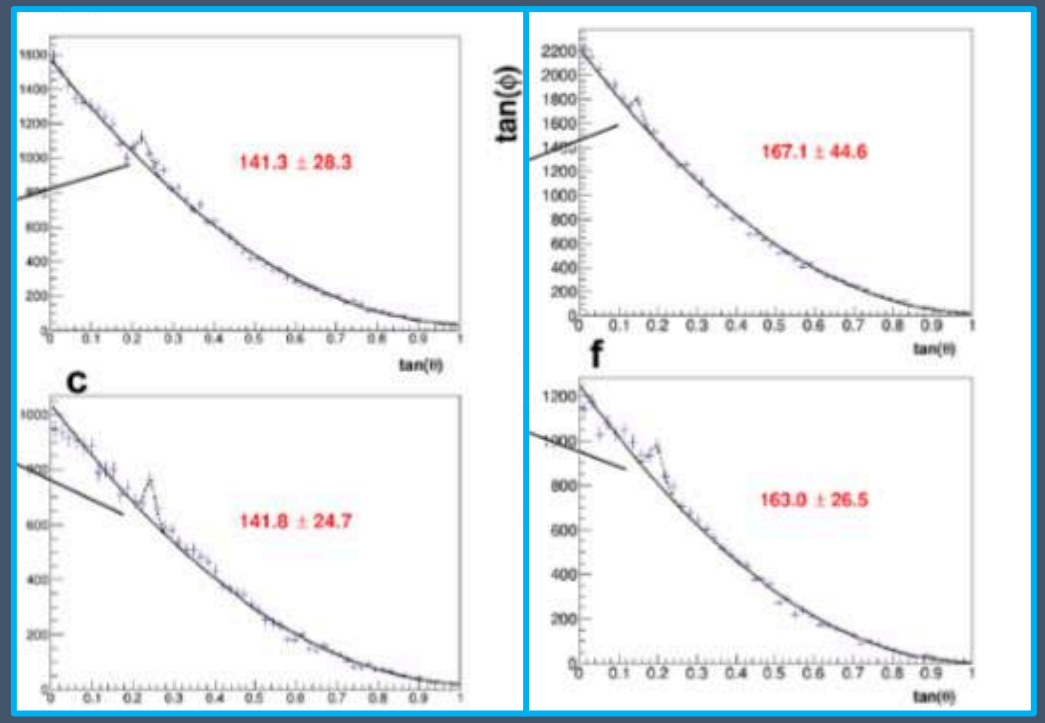
Emulsioni



Scintillatori



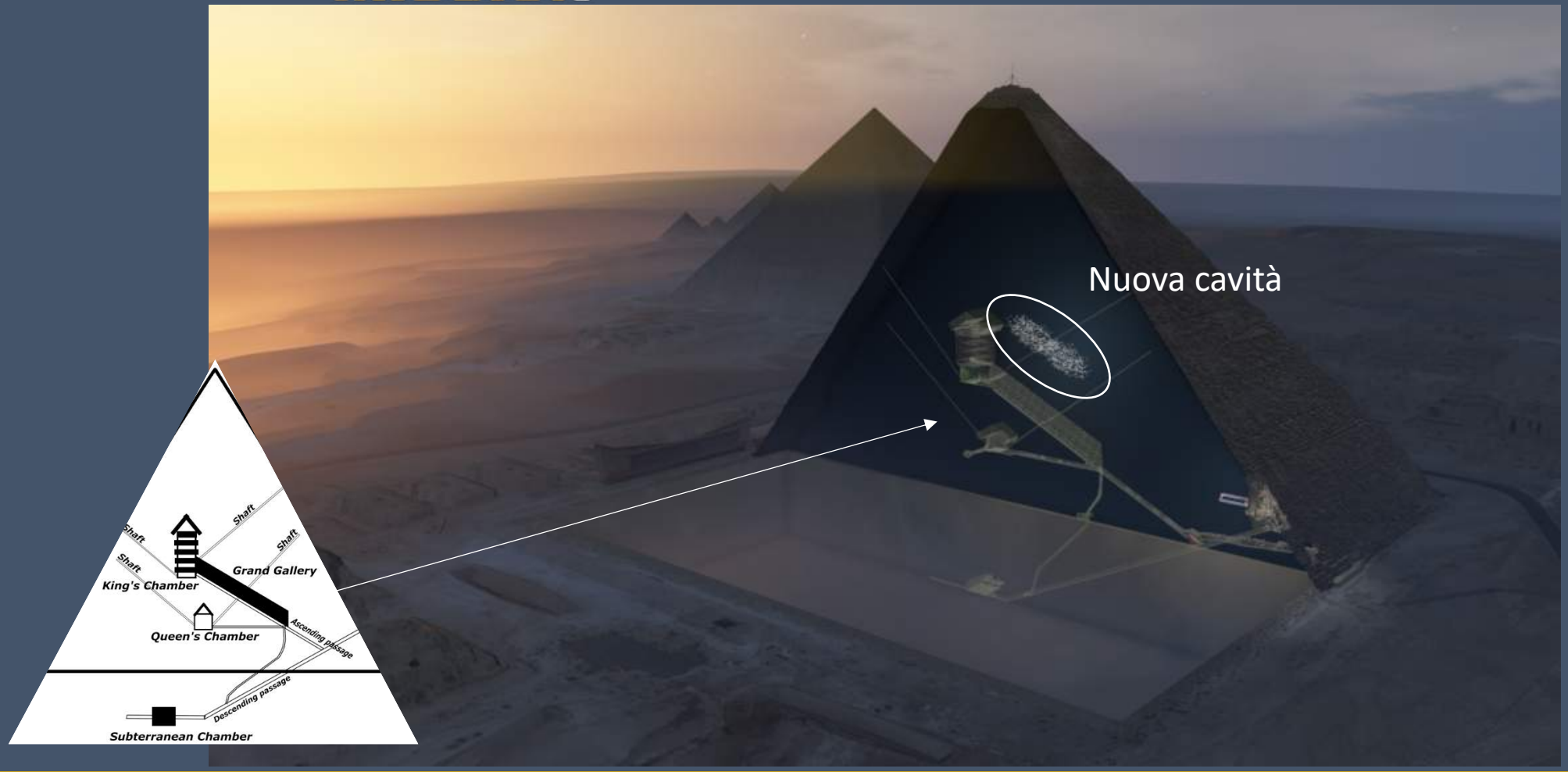
Rivelatori a gas messi all'esterno



Chiaro segnale della presenza di una cavità

Il progetto

Le Applicazioni



Le Applicazioni

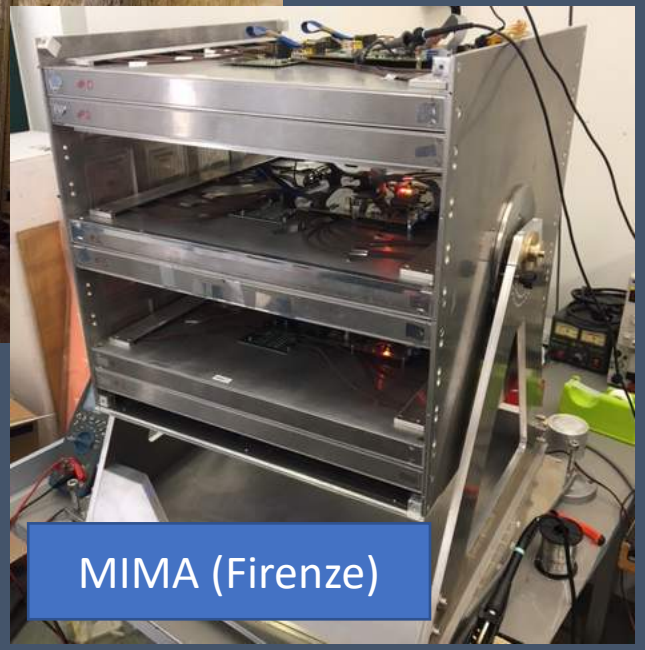
- ~~Vulcanologia~~
- Archeologia
- Indagini del sottosuolo
- Cargo inspections

Le Applicazioni

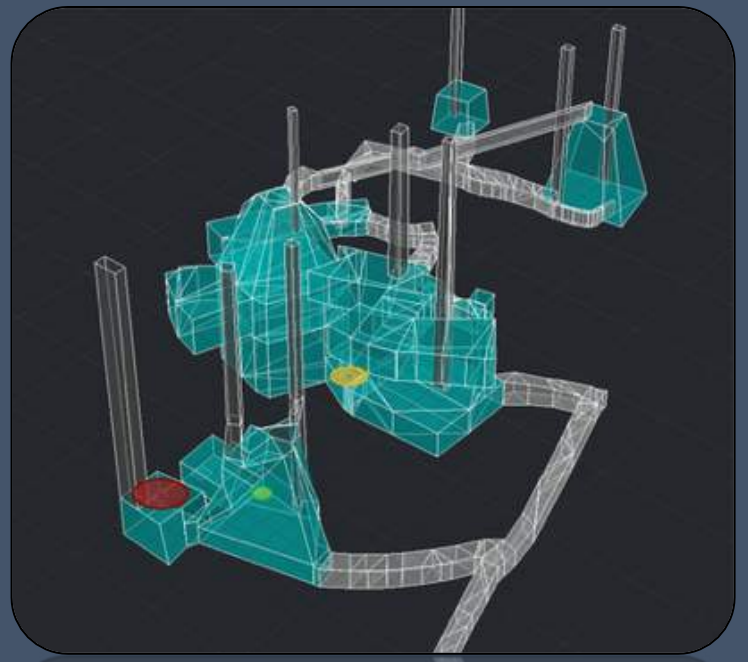
Ricerca di cavità nel sottosuolo di Mt. Echia

Nel 1853 Ferdinando II di Borbone lo fa realizzare, per scopi militari.
Poi rifugio antiaereo, deposito giudiziario etc. etc.
Restaurato di recente (dal 2005) e inserito nel percorso archeologico sotterraneo.
Un gran numero di strutture sotterranee sono state scoperte.
L'esplorazione continua….

Le Applicazioni

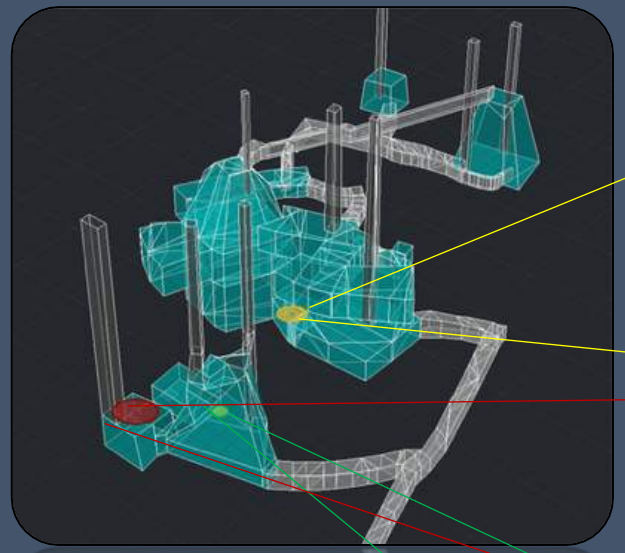


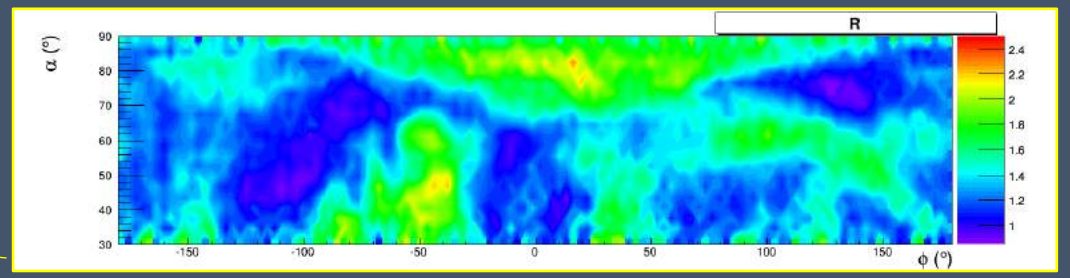
12 m s.l.m.
35 m sotto la superficie

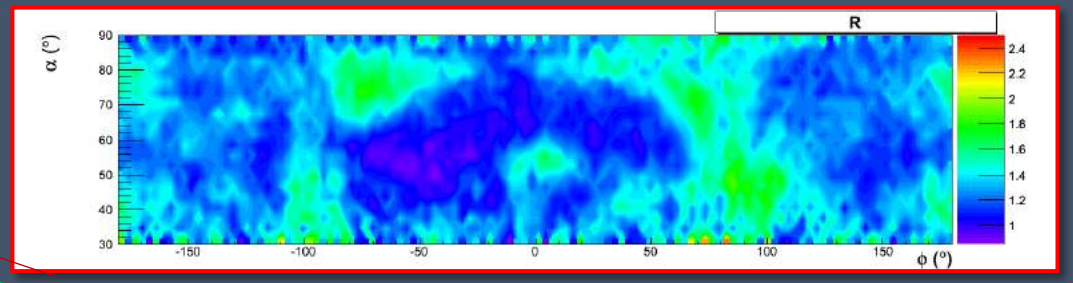


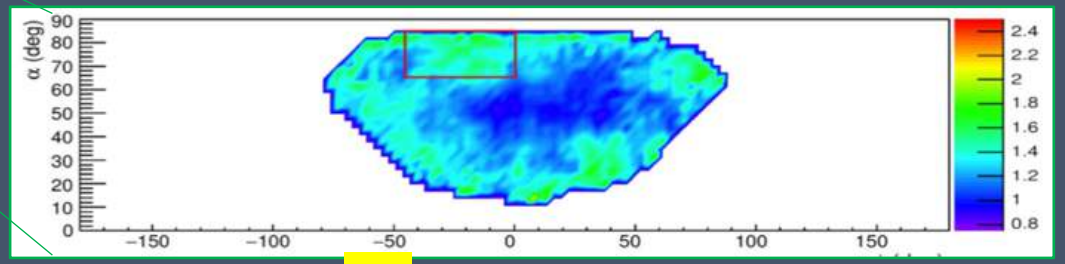
- MU-RAY detector at Pool Location
- MU-RAY detector at Tank Location
- MIMA detector at Tank Location

Le Applicazioni



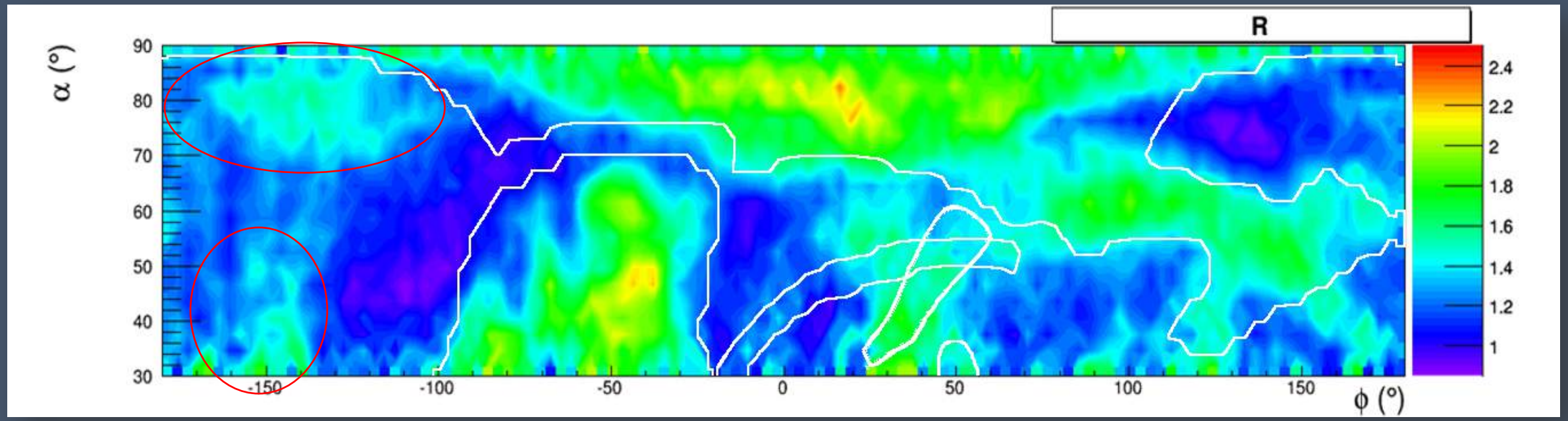






Rapporto tra Numero di muoni osservati e numero di muoni attesi in ipotesi di roccia «piena»

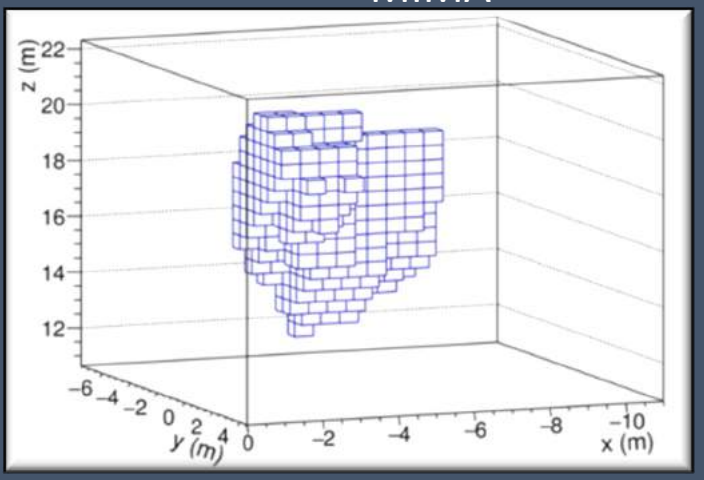
Le Applicazioni

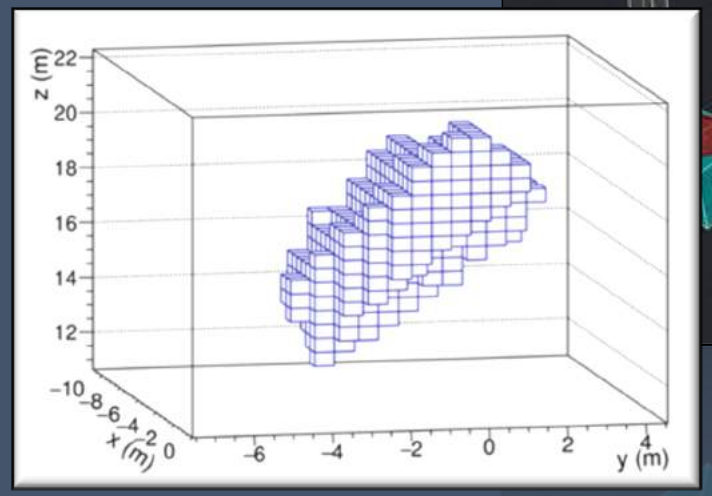


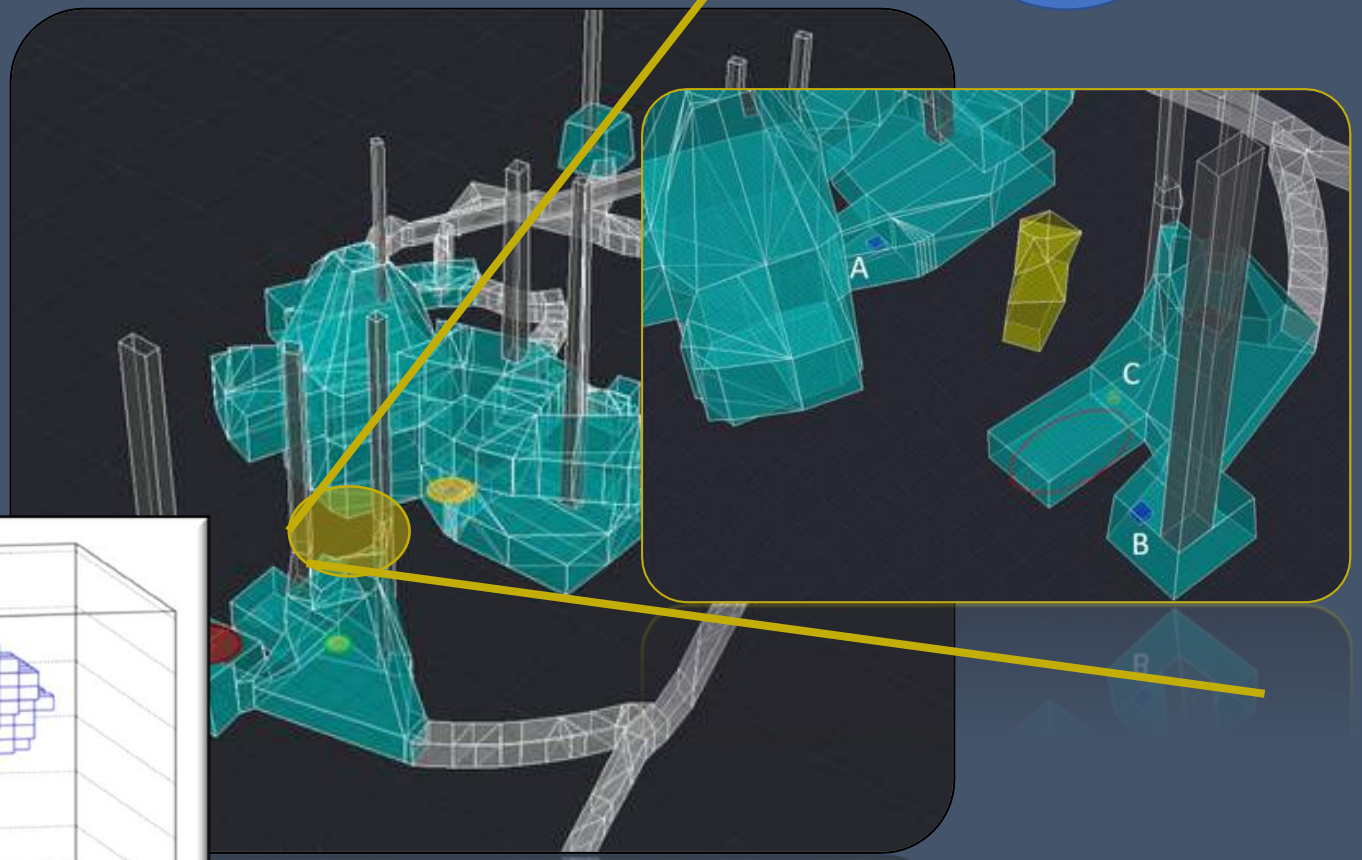
In bianco i profili di come ci si aspetta che appaiano le strutture note, visti in muografia.
Cerchiate in rosso due strutture «ignote»

Le Applicazioni

Ricostruzione tridimensionale

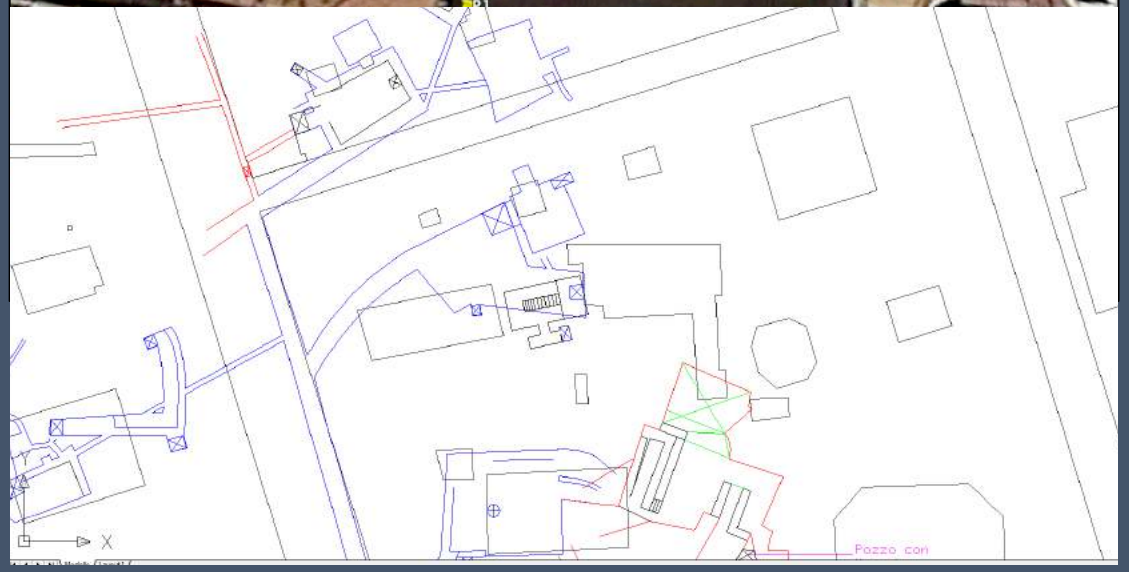


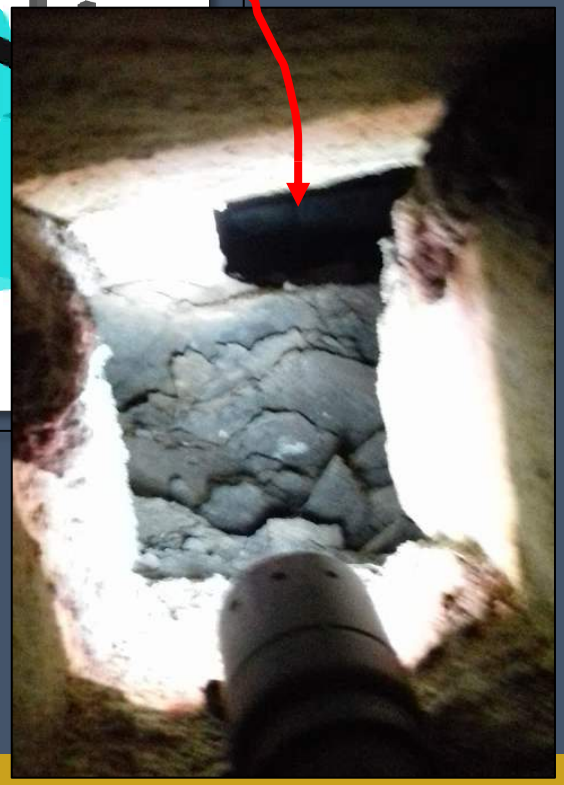




Le Applicazioni

Posizionamento della camera ricostruita



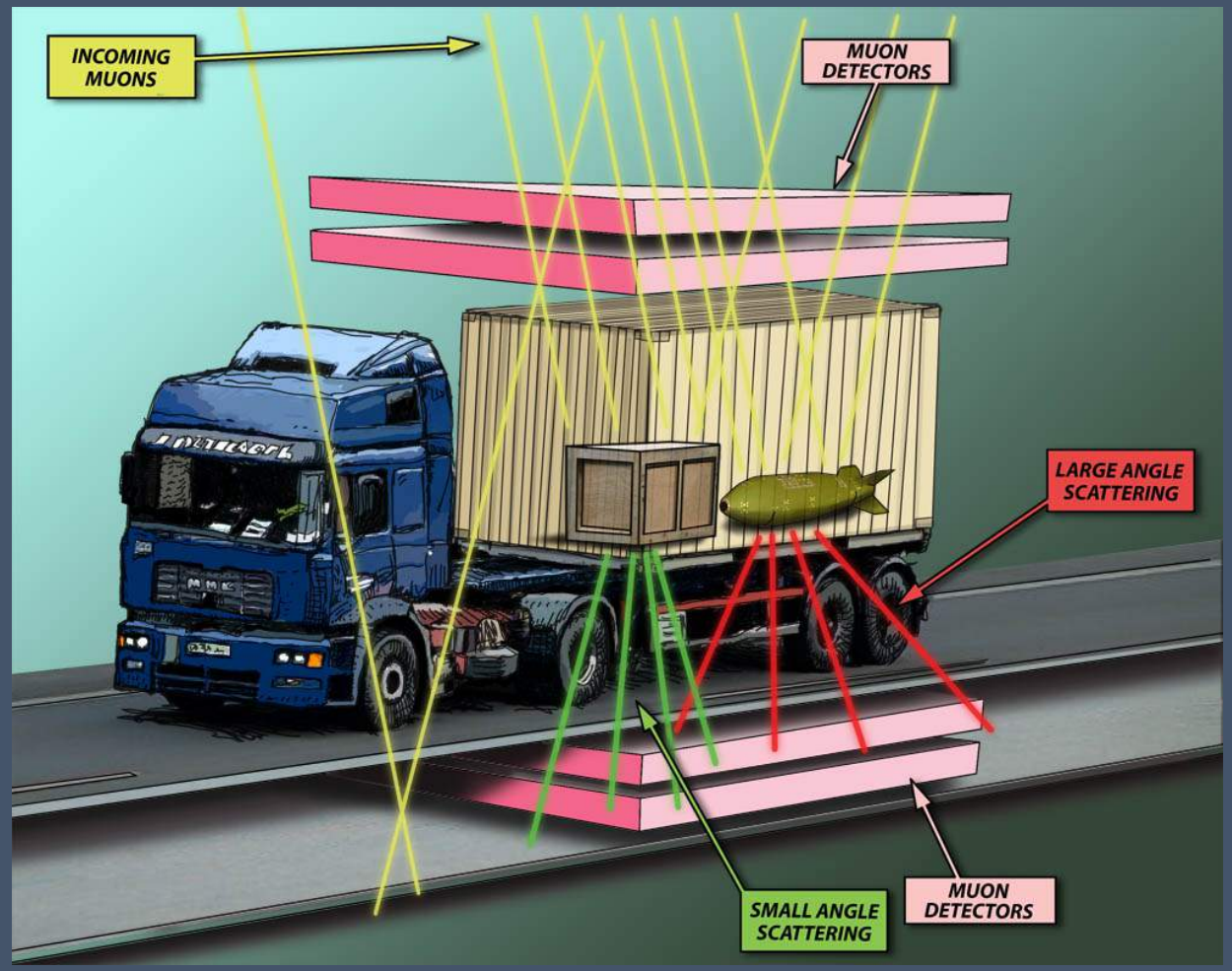


In seguito alla scoperta sono stati effettuati dei sopralluoghi dai quali è emersa la presenza di un pozzo in superficie compatibile con l'esistenza della camera in profondità

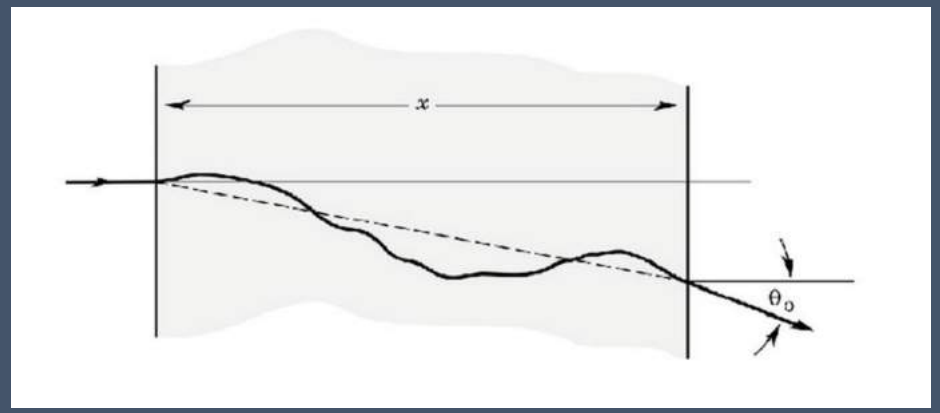
Le Applicazioni

- ~~Vulcanologia~~
- ~~Archeologia~~
- ~~Indagini del sottosuolo~~
- Cargo inspections

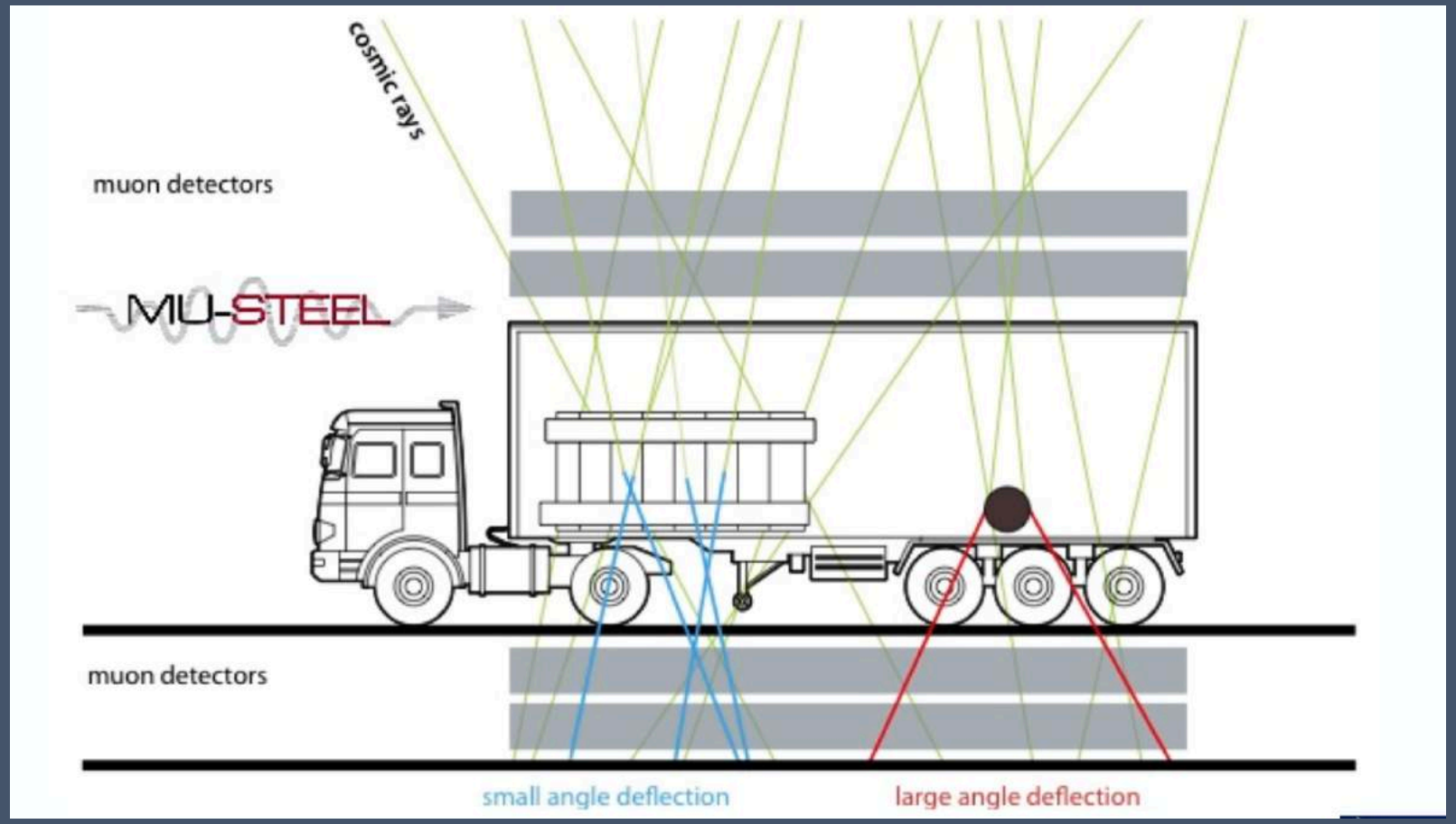
Le Applicazioni



I nuclei atomici fanno deviare la traiettoria con perdita di energia trascurabile.
A volte un problema, a volte un vantaggio (radiografia muonica per scattering multiplo)



Le Applicazioni



Conclusioni

- La radiografia muonica è una tecnica non invasiva che permette l'ispezione di oggetti molto grandi
- Viene applicata ai vulcani -> comprensione della struttura interna del cratere
- Applicazioni in archeologia -> scoperta di camere nascoste senza rischiare il danneggiamento del bene
- Ispezione di cargo e container -> intercettazione trasposto sostanze radioattive e pericolose

- Molto altro ancora!

Grazie dell’attenzione