

# Muografia e la cupola di Santa Maria del Fiore

GSRM2018

Giornata di Studio sulla Radiografia Muonica in ambito multidisciplinare

29-30 Ottobre 2018 Auditorium dell'Ente Cassa di Risparmio di Firenze

(Via Folco Portinari 5, Firenze)

1

# Introduzione

- Il Duomo di Firenze:
- Inizio dei lavori: 1295.
- Costruzione della Cupola: 1420-1436
- Diametro esterno: 42,97 m
- Spessore della volta interna: 2,1 m



# Introduzione

- Fessurazione nella volta interna sono state osservate da secoli. alcune delle più larghe arrivano a 7cm.



# Introduzione

- ▶ Sotto monitoraggio costante

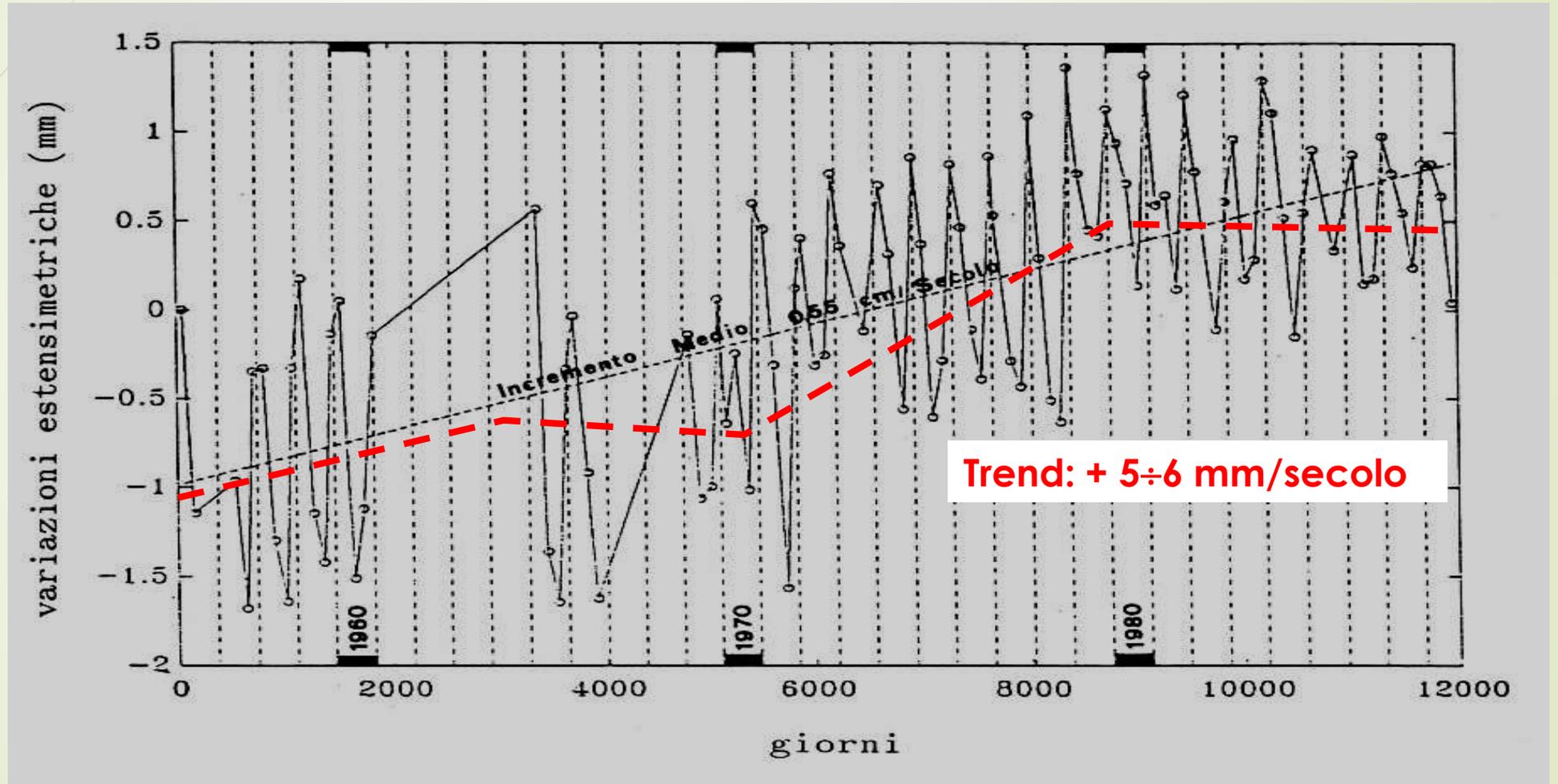


GSRM 2018 - 29-30 Novembre 2018- R. D'Alessandro



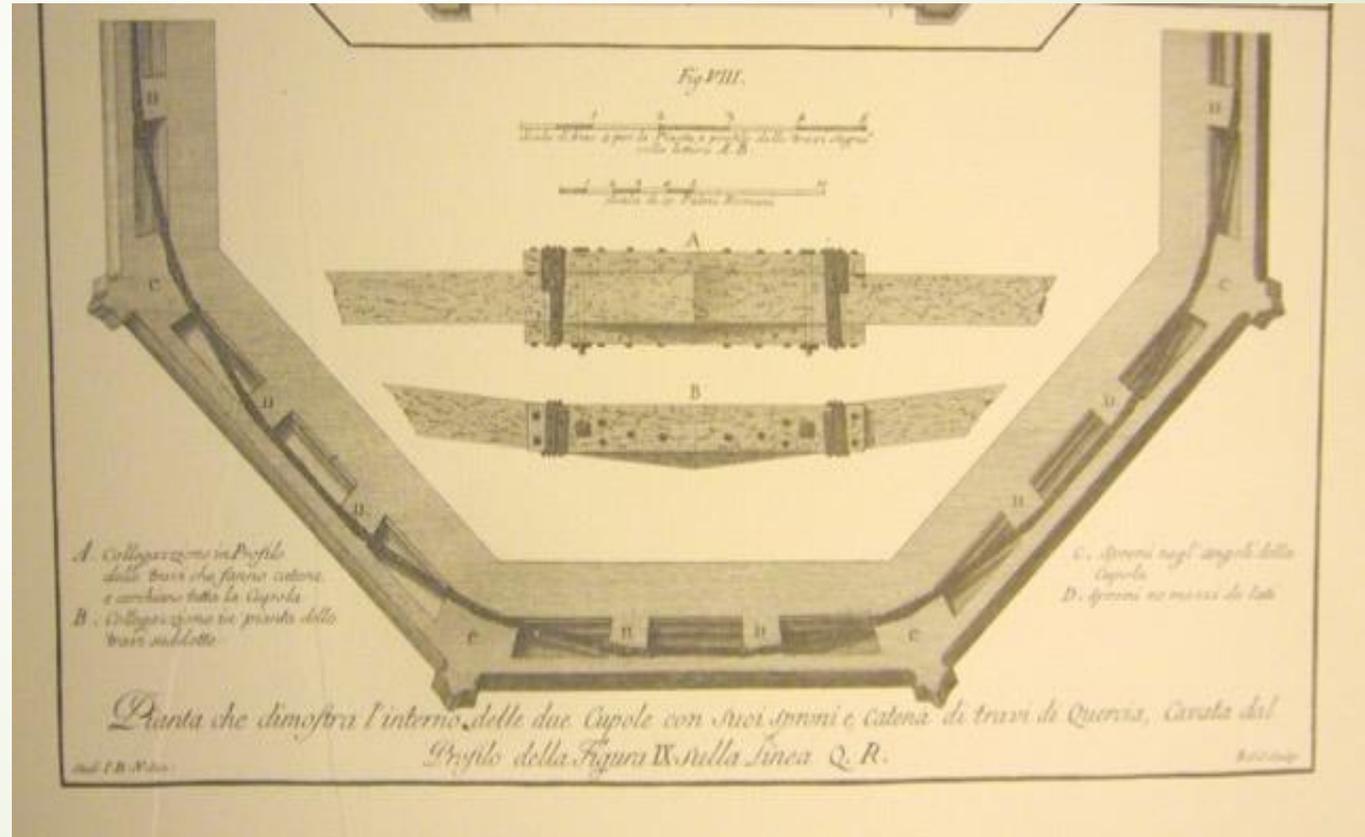
# Introduzione

- Misure estensimetriche su un arco di 32 anni



# Introduzione

- Bernardo Sansone Sgrilli, 1733: disegno della cinta di legno all'interno della Cupola



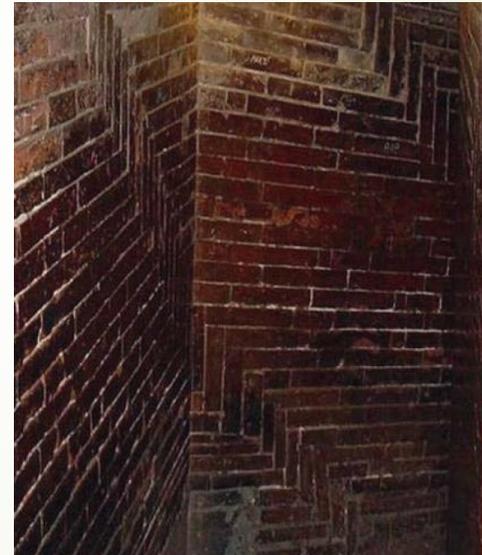
# Introduzione

- ▶ Non solo la cinta di cui vediamo alcune foto, ma:
  - ▶ Anche i mattoni sono sagomati opportunamente



# Introduzione

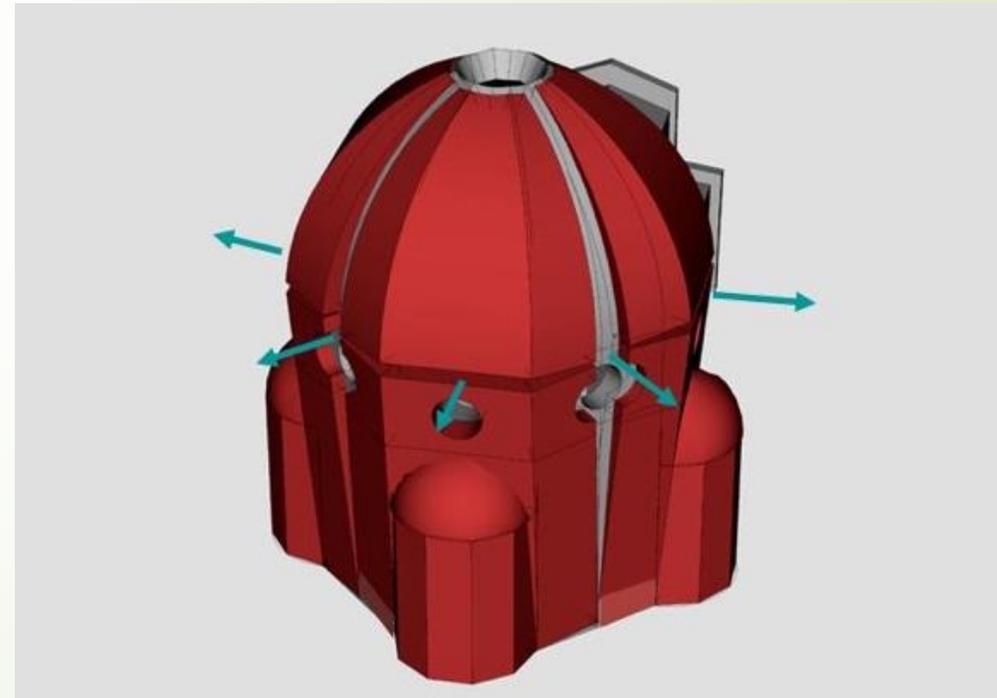
- ▶ Mattoni di vario tipo:
- ▶ 17cm x 34 cm x 5 cm ; 22 cm x 44 cm x 5 cm ; 22 cm x 22 cm x 5 cm
- ▶ Muratura cordablanda e spina di pesce
- ▶ Per gli spigoli del tamburo, furono usati speciali mattoni angolati a 135°



- ▶ La cupola del Brunelleschi. Storia e futuro di una grande struttura, di Giovanni e Michele Fanelli

# Preoccupazione

- ▶ Stabilità della Cupola
- ▶ Prima di tutto una scansione della catena lignea con un 3D laser-scanner in maniera da valutare lo stato di degrado
- ▶ Verifica dell'efficacia della catena nel bilanciare e contrastare la spinta radiale della Cupola



# Incertezza

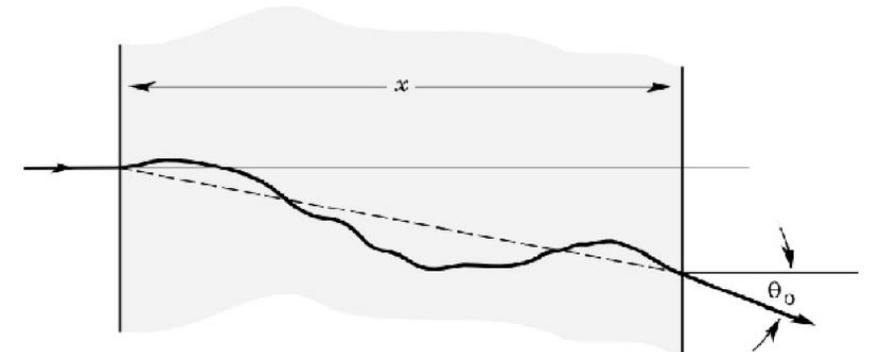
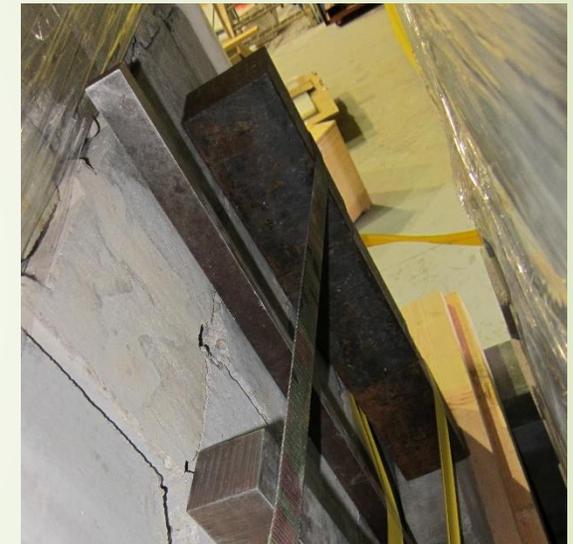
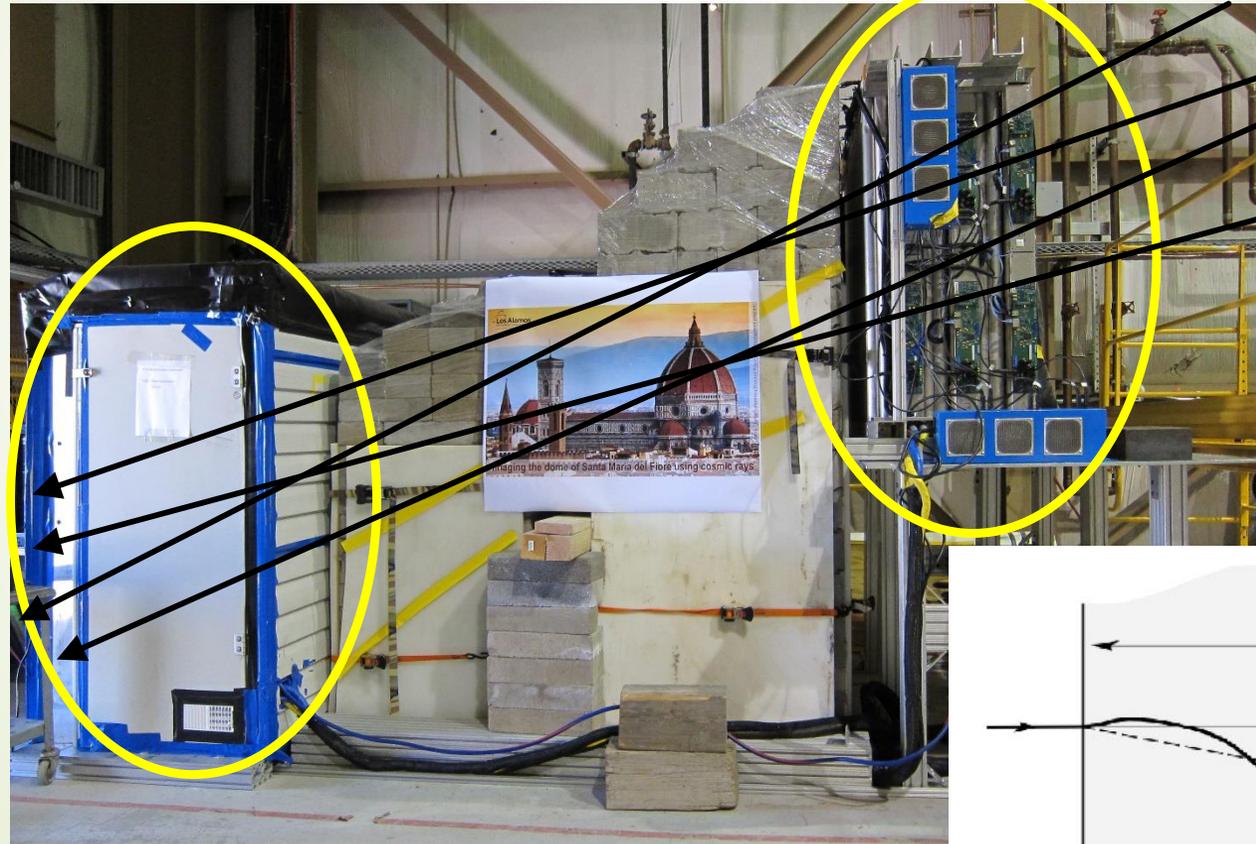
- ▶ Oltre alla catena lignea, vi sono catene in “macigno” (anelli di pietra uniti con staffe di ferro), ma alcuni studiosi ritengono che ci possano essere anche catene in ferro (pg. 182, La Cup. del Brun.)
- ▶ Al momento le poche misure non distruttive fatte non portano a conclusioni certe
- ▶ La presenza o meno di altre strutture di supporto/contenimento ha un'impatto immediato nella formulazione dei piani d'intervento
- ▶ Usare la radiografia muonica

# Vincoli

- Circa 2 metri di spessore (muratura, laterizi, pietra)
- Il ferro, se presente, “sottili” sbarre (diametro 5-10 cm) forse anche 2 cm !
- Challenging
- Primo candidato tomografia muonica per scattering multiplo
  - Logistica complicata, area limitata dalle dimensioni dell'apparato
- Secondo candidato tomografia muonica per assorbimento
  - Sensibilità inferiore, risoluzione spaziale limitata, difficile “capire” lo Z
- Usiamo entrambe le tecniche

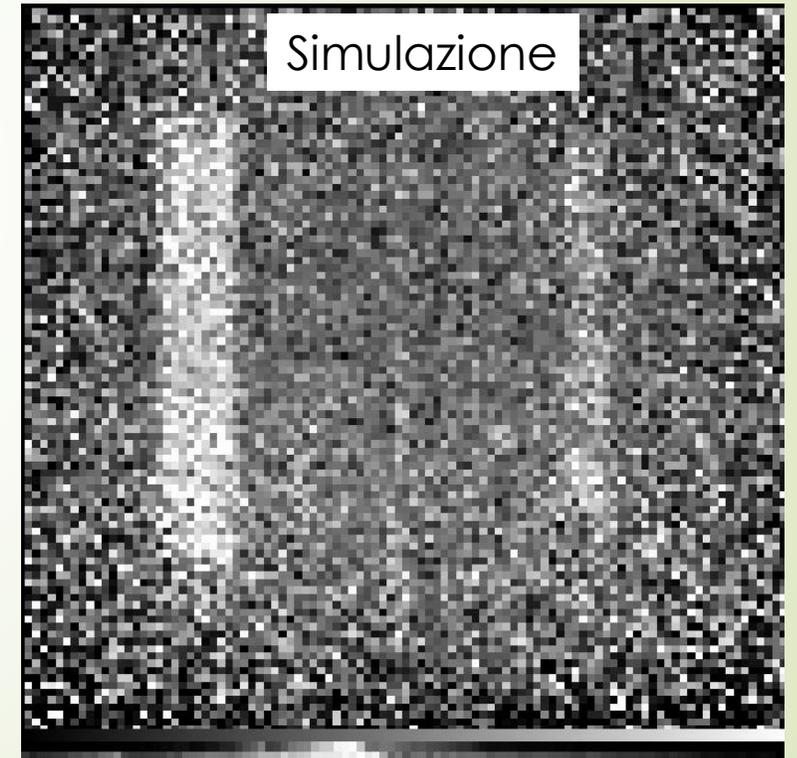
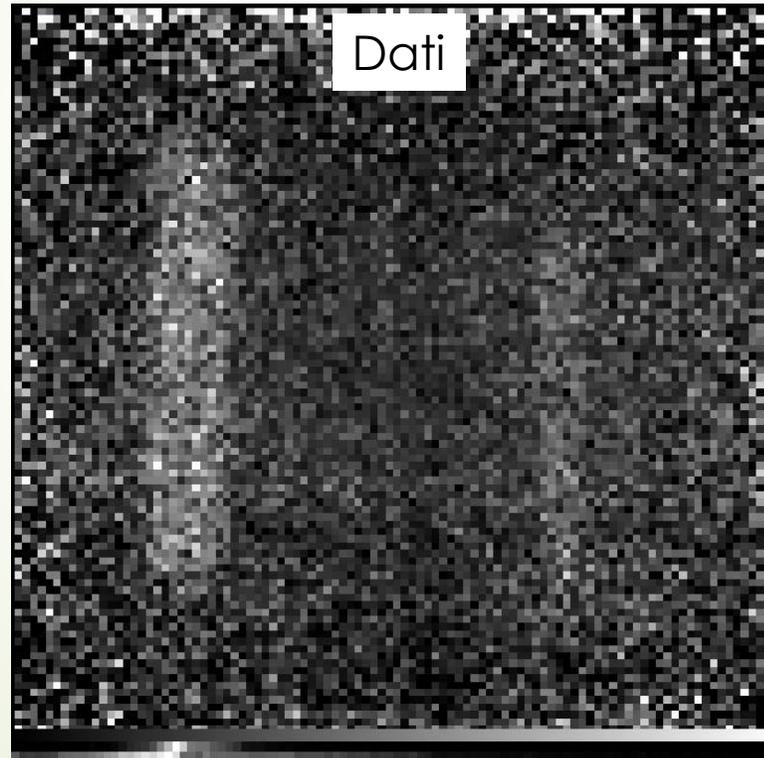
# Muografia scattering multiplo

- Los Alamos National Laboratories (LANL)
- Misura della deflessione del muone (dipende dallo Z del materiale)



# Risultati del test

- ▶ ~ 1 mese di acquisizione dati
- ▶ Le tre sbarre metalliche, nascoste dietro a un muro di spessore simile alla cupola, cominciano ad essere evidenti dopo 17 giorni



# I rivelatori di LANL

## Mini Muon Tracker



## Uno dei due tracciatori di LANL



- Camere a deriva
- Utilizzano una miscela di Ar, CF<sub>4</sub> e etano a 1 bar di pressione
- Dimensioni: 137 cm x 137 cm x 30.5 cm
- Peso: 130 kg
- 5 mrad risoluzione angolare

# Muografia per assorbimento

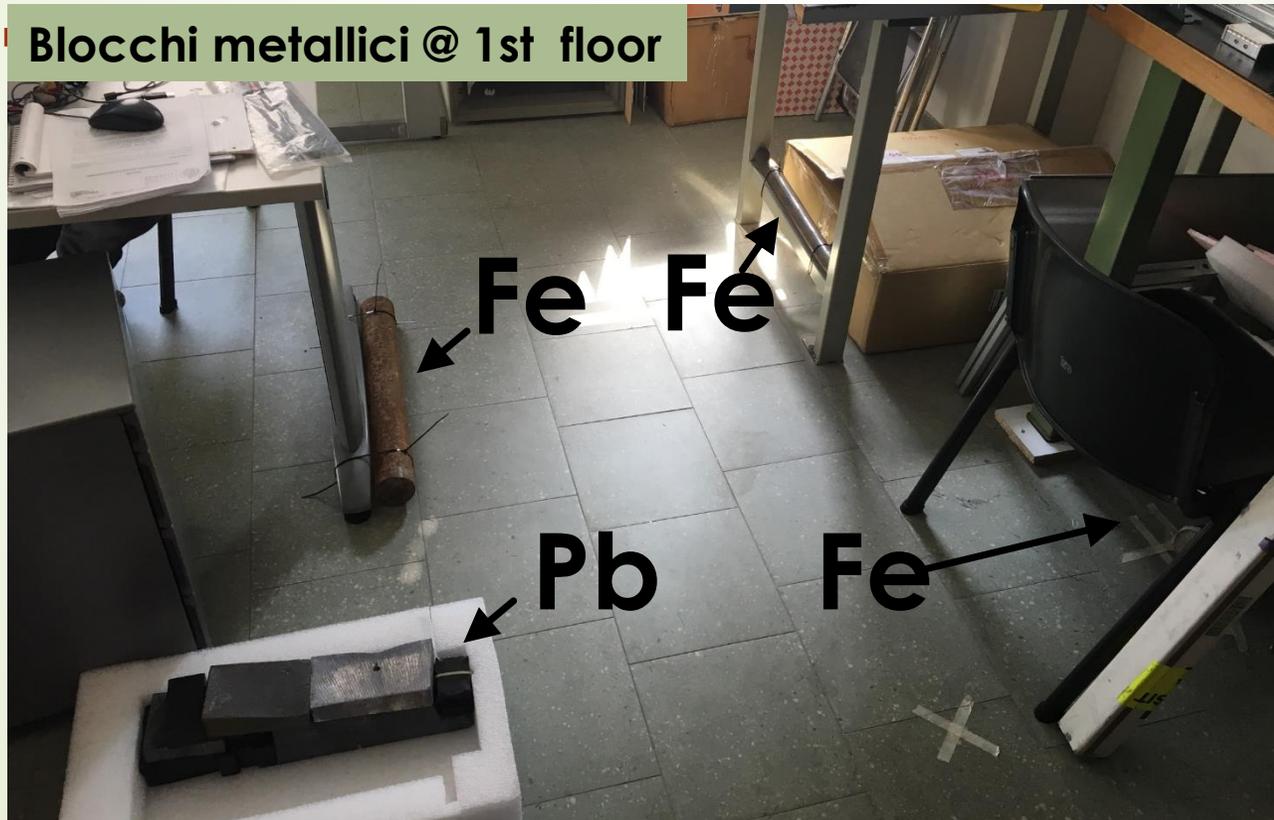
- ▶ Rivelatore MIMA (INFN e Università di Firenze)
  - ▶ Faremo versione “allungata”
  - ▶ Finanziamento ECRF
- ▶ Scintillatori plastici
- ▶ Compatto
  - ▶ 50 cm x 50 cm x 50 cm
  - ▶ 10 mrad angular res.
  - ▶ Altazimutal mounting
- ▶ Basta un solo rivelatore



# Primi test preliminari

- Test con piccoli blocchi metallici (Piombo e Ferro) al primo piano
- Rivelatore al piano terra

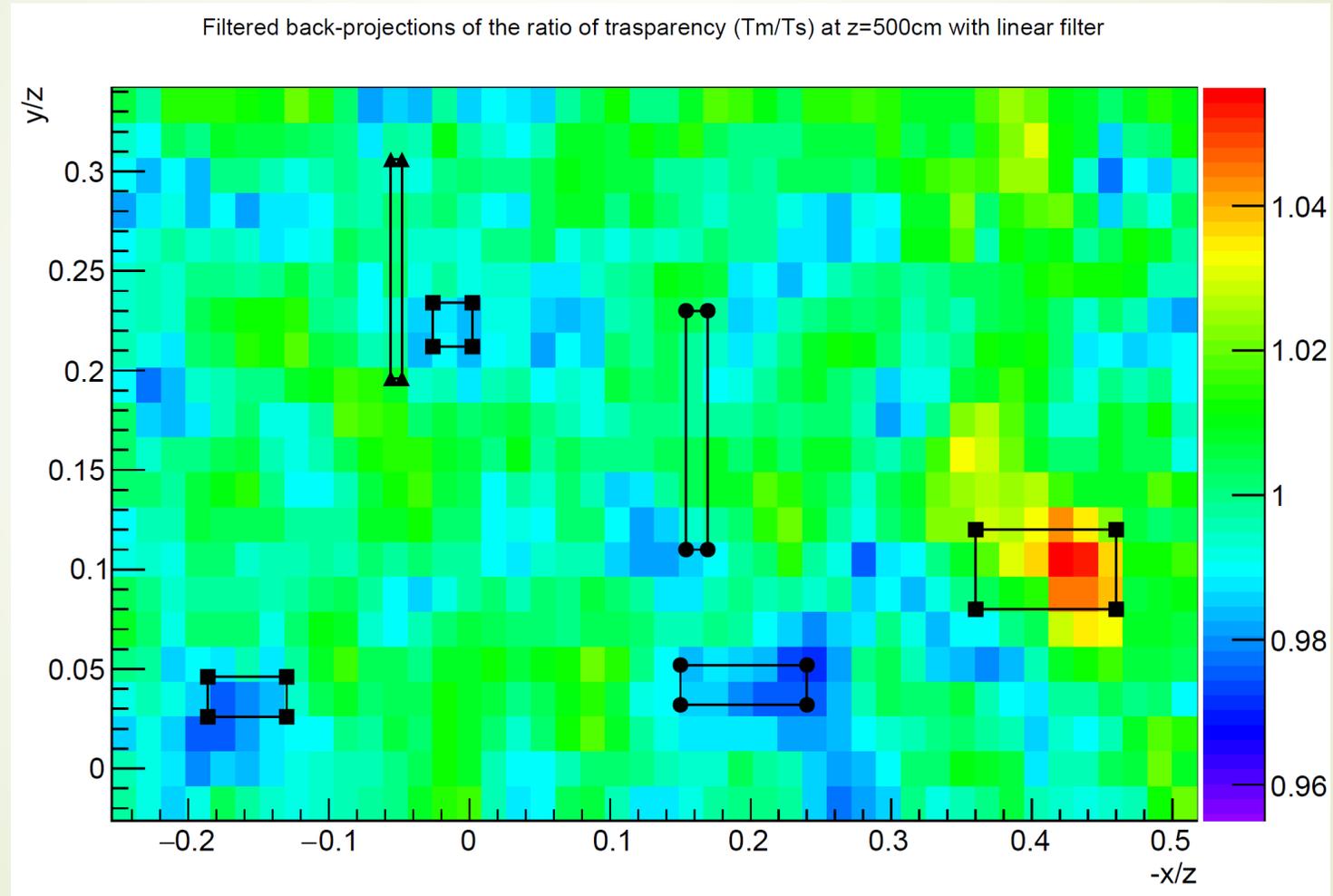
**Blocchi metallici @ 1st floor**



**MIMA @ pian terreno**



# Mappa di trasmittanza



# Futuro

- ▶ LANL stanno ultimando i rivelatori per la misura
- ▶ Accordo di collaborazione scientifica in fieri con il Dipartimento di Fisica e Astronomia di Firenze
- ▶ A Firenze proseguono i test. Stiamo allestendo un muro di cemento con dei fori interni per alloggiare dei cilindri metallici



## **Imaging the Dome of Santa Maria del Fiore using Cosmic Rays**

**E. Guardincerri<sup>1</sup>, J.D. Bacon<sup>1</sup>, N. Barros<sup>4</sup>, C. Blasi<sup>2</sup>, L. Bonechi<sup>3</sup>, A. Chen<sup>4</sup>,  
R. D'Alessandro<sup>3,5</sup>, J. M. Durham<sup>1</sup>, M. Fine<sup>4</sup>, C. Mauger<sup>4</sup>, G. Mayers<sup>4</sup>, C.  
Morris<sup>1</sup>, F. M. Newcomer<sup>4</sup>, J. Okasinski<sup>4</sup>, T. Pizzico<sup>4</sup>, K. Plaud-Ramos<sup>1</sup>,  
D.C. Poulson<sup>6,1</sup>, M.B. Reilly<sup>4</sup>, A. Roberts<sup>4</sup>, T. Saeid<sup>4</sup>, V. Vaccaro<sup>7</sup>, R. Van  
Berg<sup>4</sup>.**

*1- Subatomic Physics Group, Los Alamos National Laboratory, P.O. Box 1663, Los Alamos, NM 87545,  
USA*

*2-Formerly at University of Parma, Via Università, 12 - I 43121 Parma, Italy*

*3-INFN - Firenze, Via Sansone 1, Sesto Fiorentino, 50019, Italy*

*4-University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, USA*

*5-Department of Physics and Astronomy, University of Florence, Sesto Fiorentino, 50019, Italy*

*6- University of New Mexico, 1155 University Blvd. SE, Albuquerque, NM 87106-4320, USA*

*7-Opera di Santa Maria del Fiore, Piazza del Duomo, 9, 50122 Firenze, Italy*