# Un altro modo di guardare il cielo: Astronomia con fotoni e raggi cosmici carichi con esperimenti a terra e nello spazio

*Aldo Morselli*

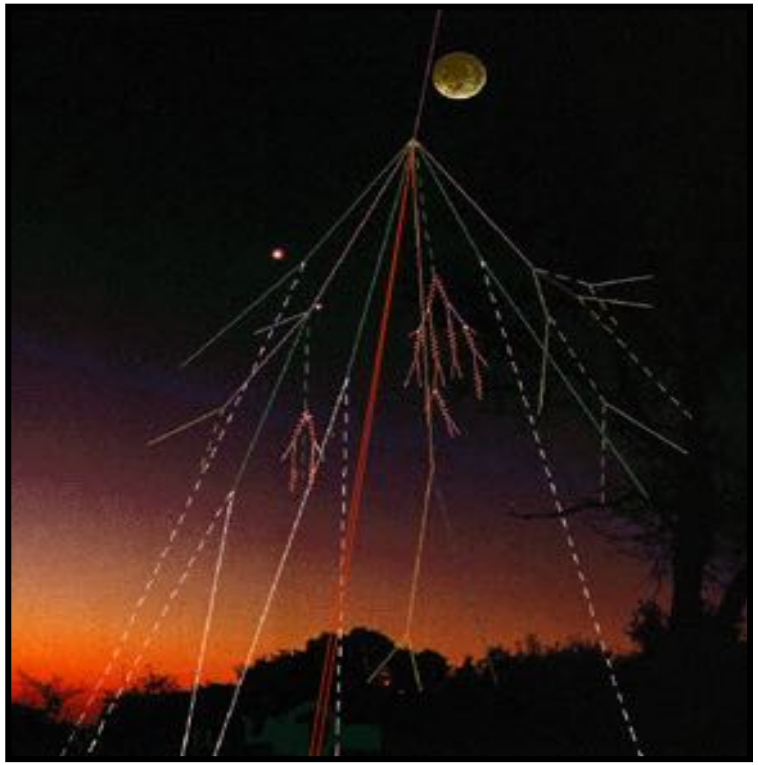
*INFN e Università di Roma Tor Vergata*

# Cosa Riceviamo dal Cielo

- Radiazione Elettromagnetica
- Raggi Cosmici
- Neutrini
- Particelle Esotiche ?
- Onde Gravitazionali

**Apri la tua mano...**

**Nel tempo impiegato**
**a leggere questa frase**
**circa 20 particelle**
**(per lo più “muoni”)**
**la avranno attraversata!**

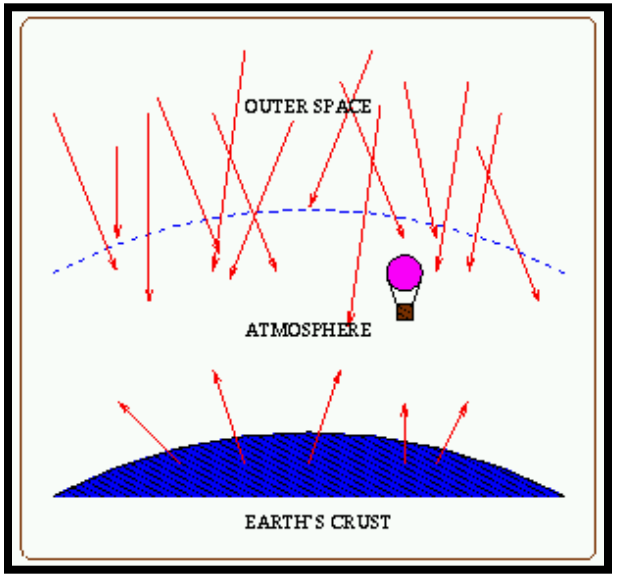


i ”muoni” vengono create dai *”Raggi Cosmici”,* particelle di vario tipo che dallo spazio esterno entrano nella nostra atmosfera ed interagiscono con l’atmosfera stessa

# 1912: Scoperta dei 'Raggi Cosmici'

- **Victor Hess volò su pallone ad un altitude di 5000 metri**
- Misurò le radiazione con un elettroscopio...
- **... e trovò che questa aumentava con l'ascesa del pallone**

- **Ciò fu una grande sorpresa perchè si pensava che questa radiazione fosse generata da materiale radiattivo nella crosta terrestre**

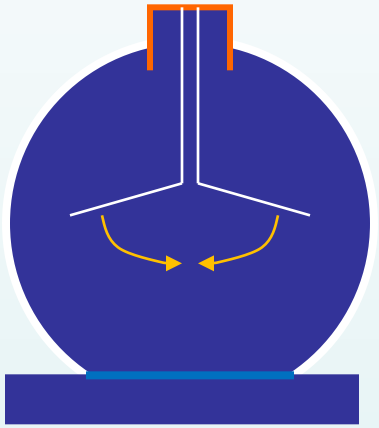



- 1926 Millikan introdusse il nome di 'cosmic rays' (raggi cosmici)

# l'elettroscopio

**Il Primo rivelatore utilizzato per mettere in evidenza l'esistenza dei raggi cosmici , è stato l'elettroscopio usato da Victor Hess:**

**Elettroscopio a foglie**



Hess bei Ballonlandung (1912).

Fig. 2. Victor Hess (in the middle) and his crew in the balloon gondola after the landing in Pieskow.

**Hess notò che, a differenza di quanto atteso, le foglioline d'oro del suo strumento si riavvicinavano molto più rapidamente quando era ad una grande quota rispetto a quanto succedeva quando era a Terra**

- **la scarica dell'elettroscopio indica che il gas interno all'ampolla è ionizzato**
- **la ionizzazione è provocata da particelle cariche che attraversano l'ampolla**
- **se il livello di ionizzazione cresce con la quota, i raggi cosmici (che non si chiamavano ancora cosi) devono necessariamente venire da sopra l'atmosfera.**

# Raggi Cosmici

- Particelle cariche : protoni, antiprotoni, elettroni, positroni, nuclei , antinuclei (?), Altro (?)

- Risentono dei campi elettrici e magnetici

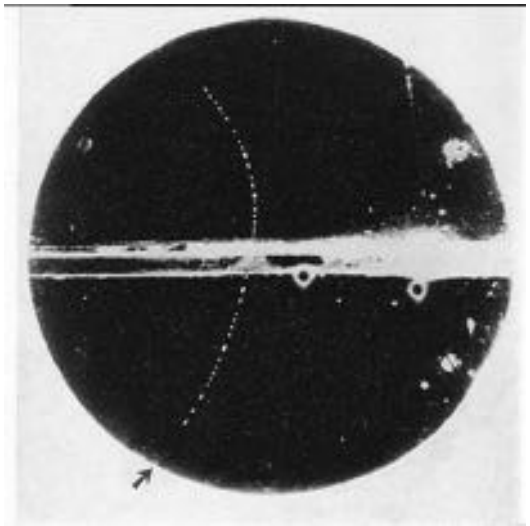
- Portano da distanze differenti un campione di materiale galattico ed extragalattico ed accelerato ad energie molto elevate.

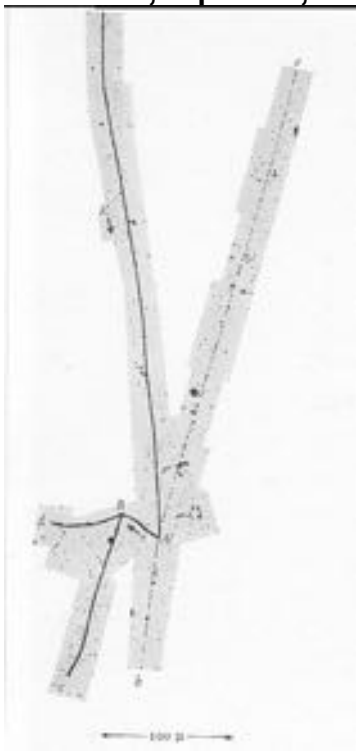
# C.R.: come vengono studiati e cosa ci dicono?

Anni 1930-1950:

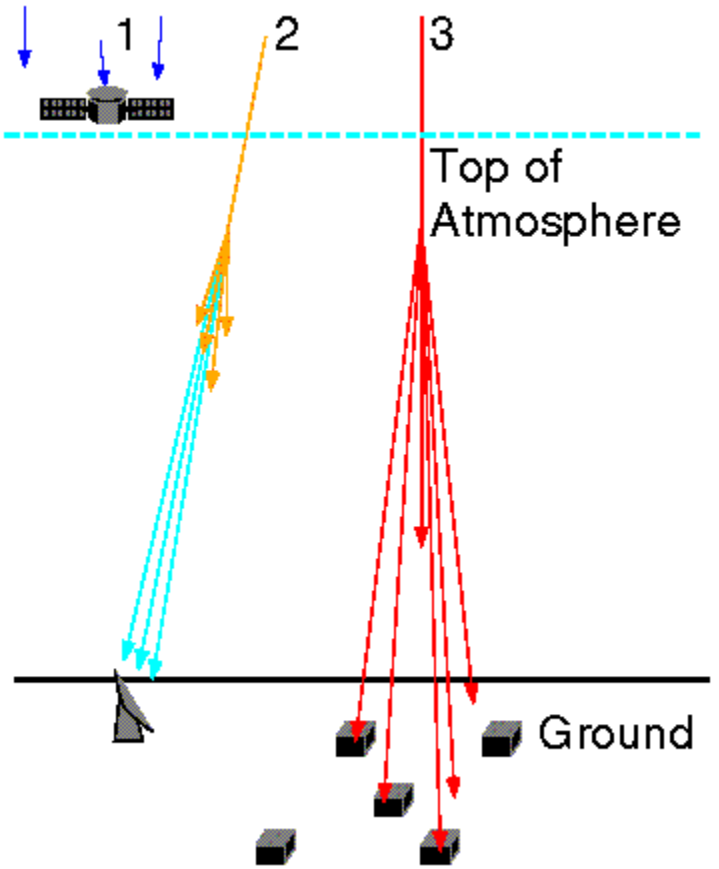
Strumenti: camere a nebbia, emulsioni, contatori Geiger, etc.

I raggi cosmici permettono di scoprire l'antimateria (positroni), i muoni, i pioni, le particelle "strane"...





Attualmente: principalmente sonde per lo studio dell'astrofisica

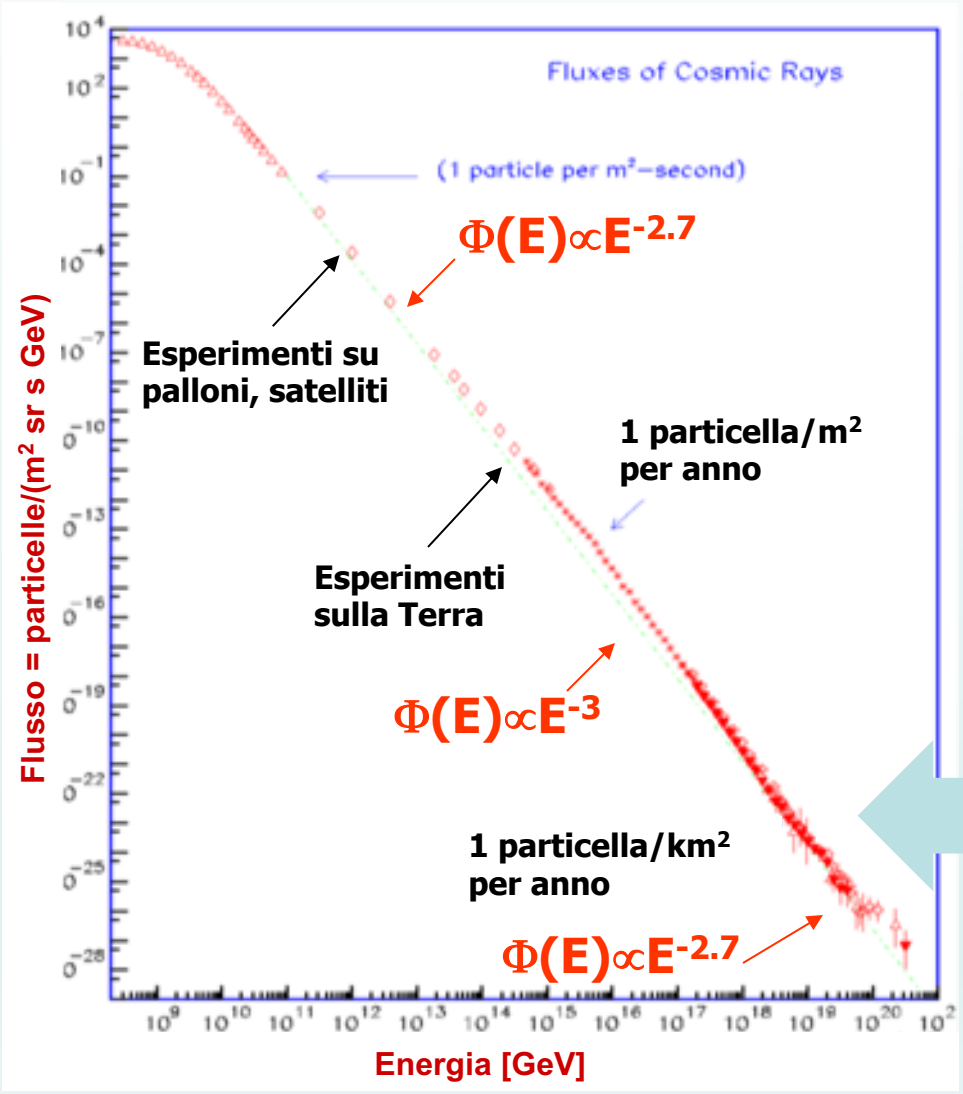


# Cosa sappiamo oggi dei Raggi Cosmici ??

- ~ 1000 particelle/(s · m$^2$)
- **nuclei ionizzati:** 90% protoni, 9% particelle α, nuclei più pesanti
- quale è l' origine dei raggi cosmici ?
  - nel sistema solare ? una piccola quantità associata a fenomeni violenti nel Sole e caratterizzata da grande variabilità temporale
  - nella galassia: la maggior parte. Si nota anche una anticorrelazione con intense attività solari
  - extragalattica: la parte più energetica dello spettro

# Cosa altro sappiamo oggi dei Raggi Cosmici

**Distribuzione in energia dei R. C.**




- **Rivelate particelle elementari, protoni, con energia maggiore di $10^{21}$eV (come quella di una palla da tennis lanciata in prima battuta da un campione di tennis ~150km/h)**
- **Molte domande senza risposta:**
  - **Da dove vengono ? Dalla nostra Galassia ?**
  - **Quale meccanismo è capace di accelerarle ?**
  - **…**

**Per rivelare i raggi cosmici di energia così elevata è necessario un rivelatore di grandi superficie: più di 1 km²**

Onde Radio, raggi di sole, fotoni Gamma

# Lo spettro elettromagnetico

Le 2 relazioni fondamentali:

$E = h \nu$ E = energia

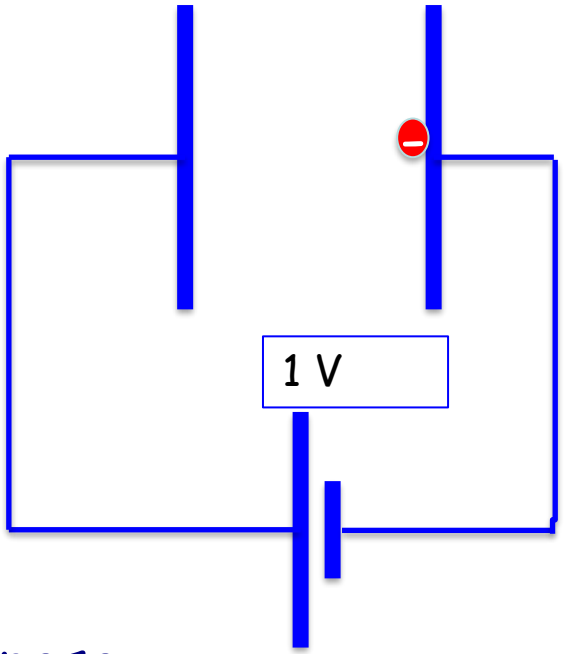
$\nu$ = frequenza

$c = \lambda \nu$ c = velocità della luce

$\lambda$ = lunghezza d'onda

# Una utile unità di misura: elettronvolt (eV)

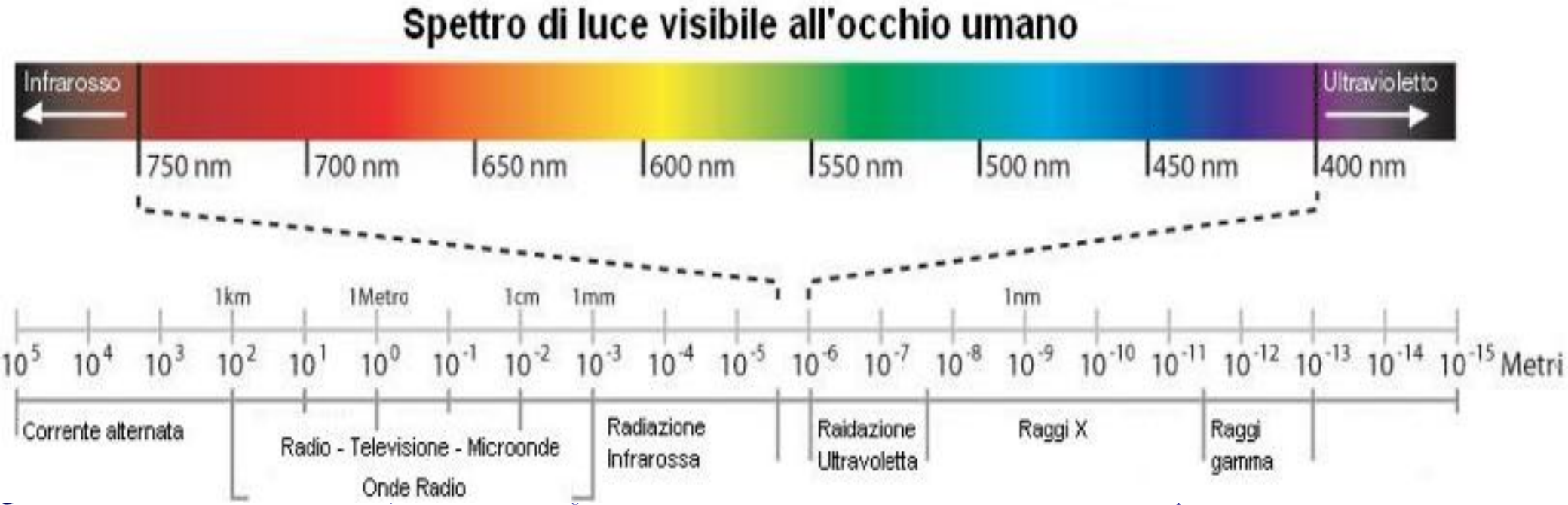
- L'energia delle particelle si misura in eV
  - Energia acquisita da un elettrone muovendosi in una differenza di potenziale di 1 Volt




- La luce visibile ha un energia di 1,6 / 3,4 eV
- 1 MeV ($1.602 \times 10^{-13}$ J): 2 volte l'energia a riposo dell'elettrone
- 200 MeV: Energia media della fissione di un nucleo di U-235
- $125.1 \pm 0.2$ GeV: La massa del bosone di Higgs
- 1 TeV: Mille miliardi di eV, l'energia cinetica di una zanzara in volo

Nota: KeV = $10^3$ eV MeV= $10^6$ eV GeV= $10^9$ eV TeV= $10^{12}$ eV

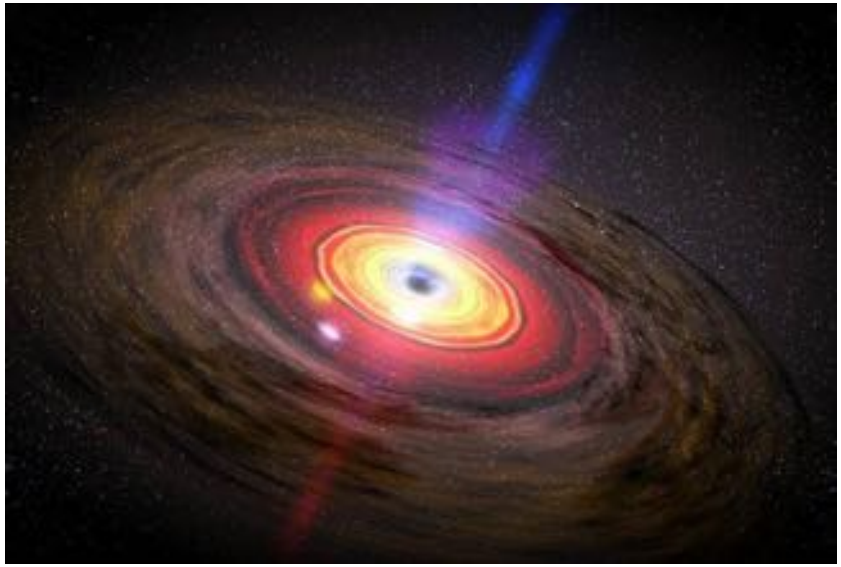
# Radiazione elettromagnetica



ma esistono i raggi gamma ?

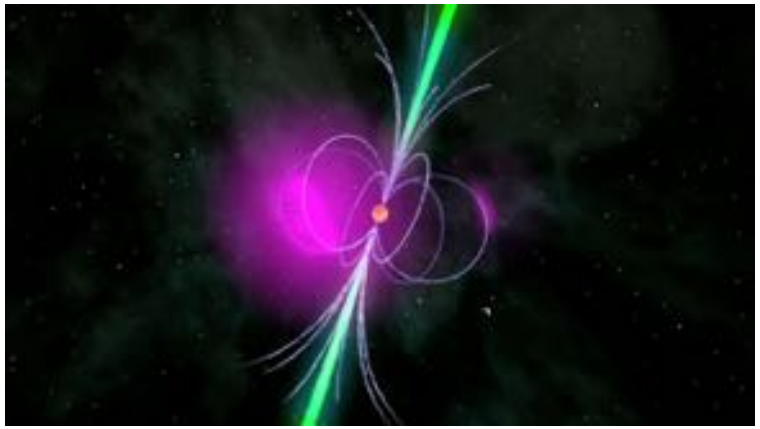
e come vengono prodotti ?

# Chi emette raggi gamma?



**Blazar** (*blazing quasi-stellar object)*

- Nuclei Galattici Attivi (AGN)



Pulsar

Gamma Ray Burst (GRB

Resti di supernova

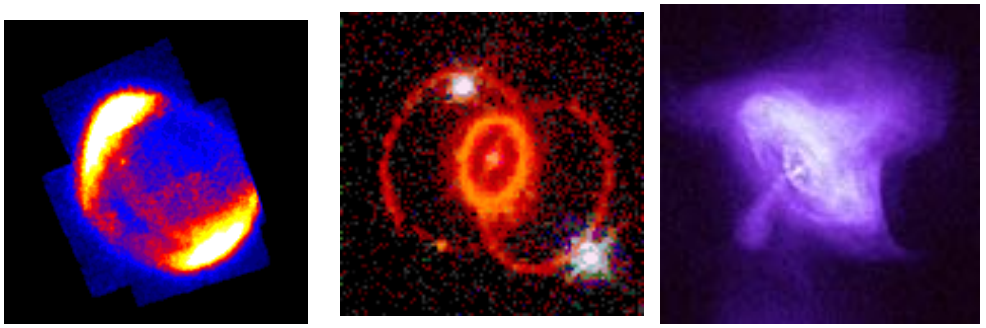
# Esplosione di supernova

# Esplosione di SuperNova

Una SuperNova indica la fine esplosiva della vita di una stella massiva (>10 masse solari); nella nostra galassia circa una SN ogni 50 anni

**NEBULOSA DEL GRANCHIO**
Astronomi cinesi ne registrarono l'esplosione nel 1054.

Particelle (protoni e nuclei fabbricati durante la vita della stella) vengono espulsi e poi accelerati nell'"onda d'urto" che si forma



Mentre i fotoni prodotti vanno dritti ed in circa 5000-50000 anni escono dalla galassia, le particelle cariche espulse rimangono intrappolate dai campi magnetici anche per 10 milioni di anni

Questo meccanismo puo' spiegare gran parte dello spettro di energia dei raggi cosmici (fino a circa $10^{16}$ eV)

La CRAB Pulsar

# Blazar

un buco nero rotante in un disco di accrescimento

# Blazar

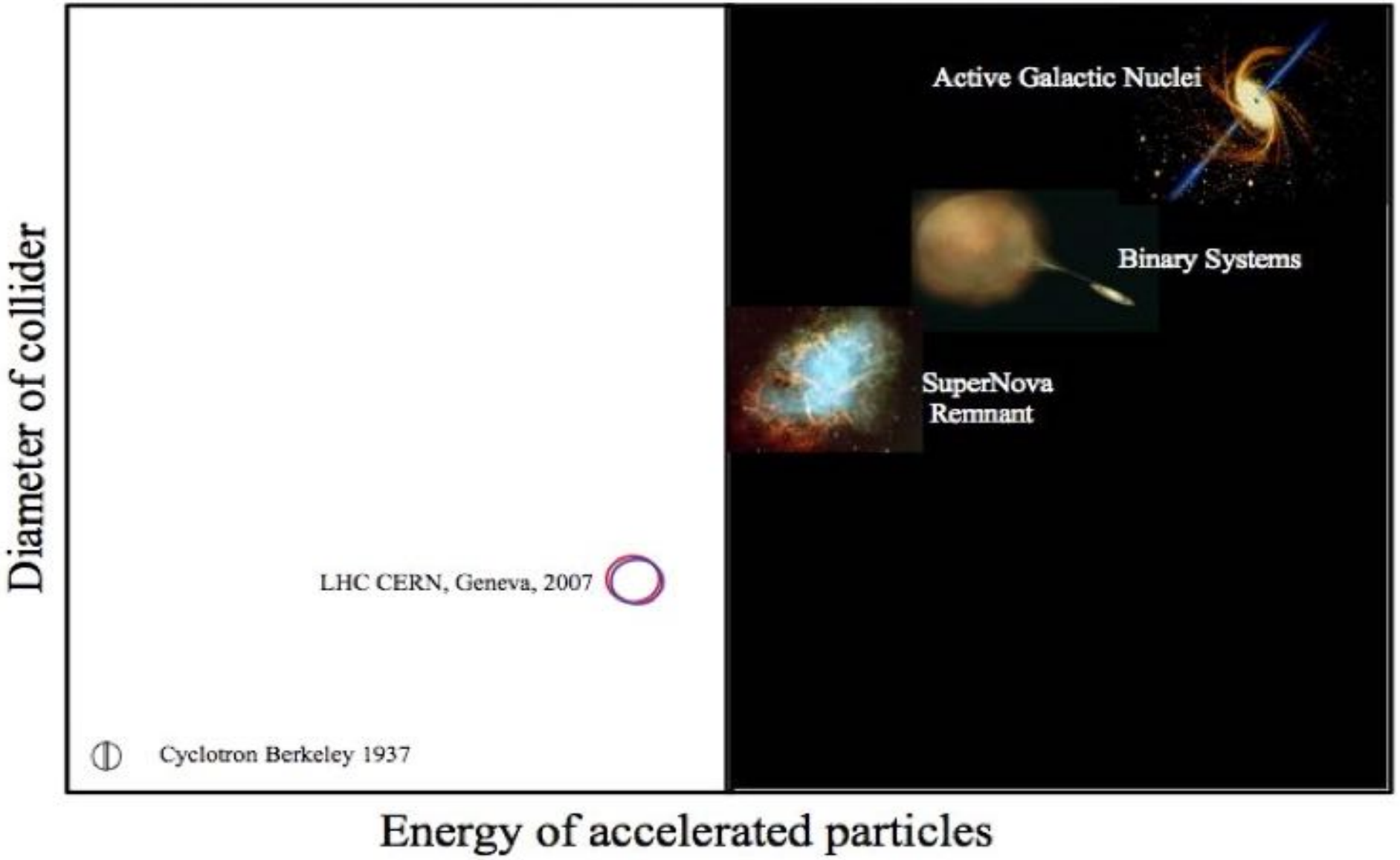
Modelli per l'emissione di alta energia da buchi neri al centro di galassie attive

# Lampi di raggi Gamma

# Fisica delle particelle => Astrofisica delle particelle

acceleratori terrestri

acceleratori cosmici

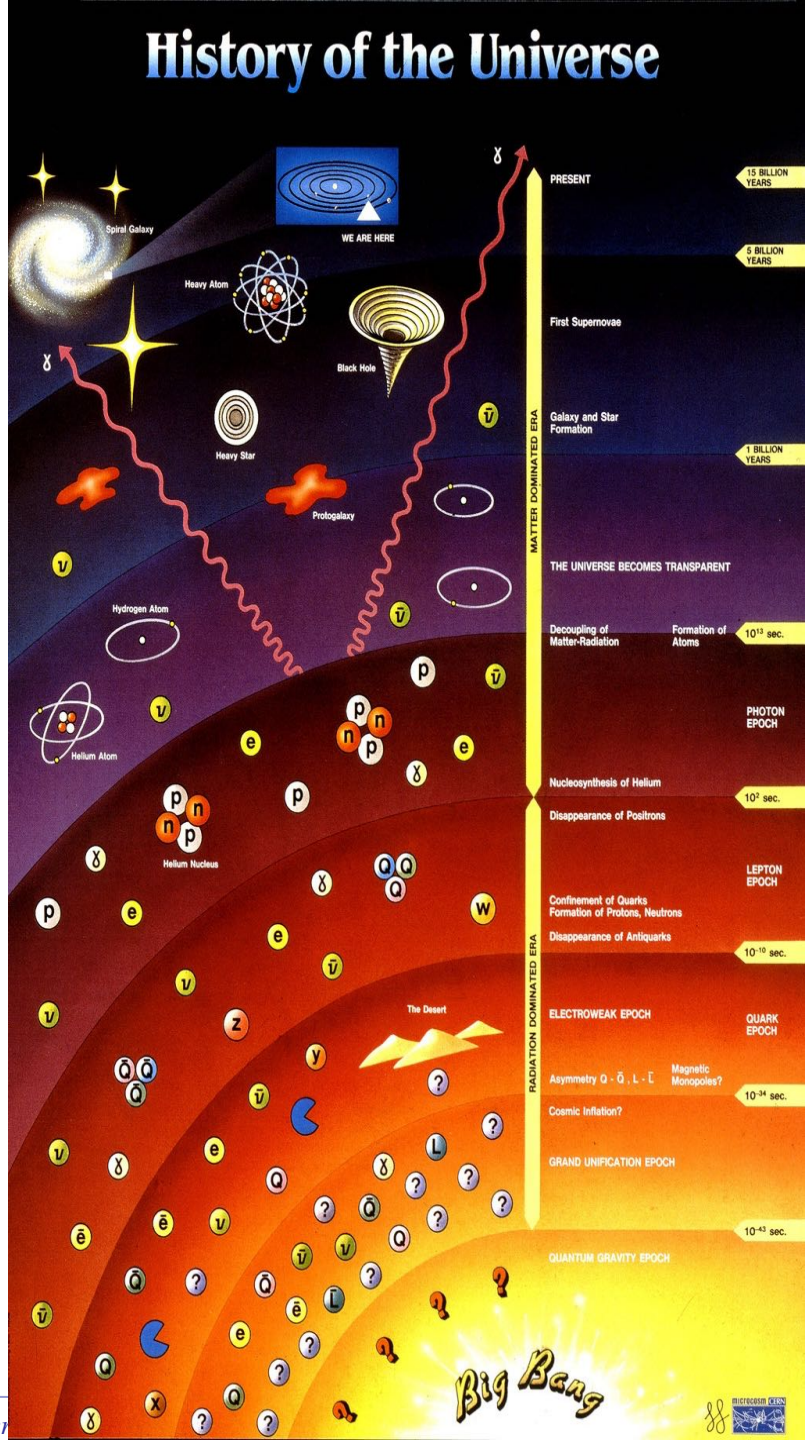


La teoria del big bang descrive l'evoluzione dell'Universo da uno stato caldo e denso ($10^{50}$ volte la densità attuale), 13,7 miliardi di anni fa, ai giorni nostri.

La rivelazione di una radiazione elettromagnetica - relitto del big bang - ne dà un'importante conferma sperimentale.

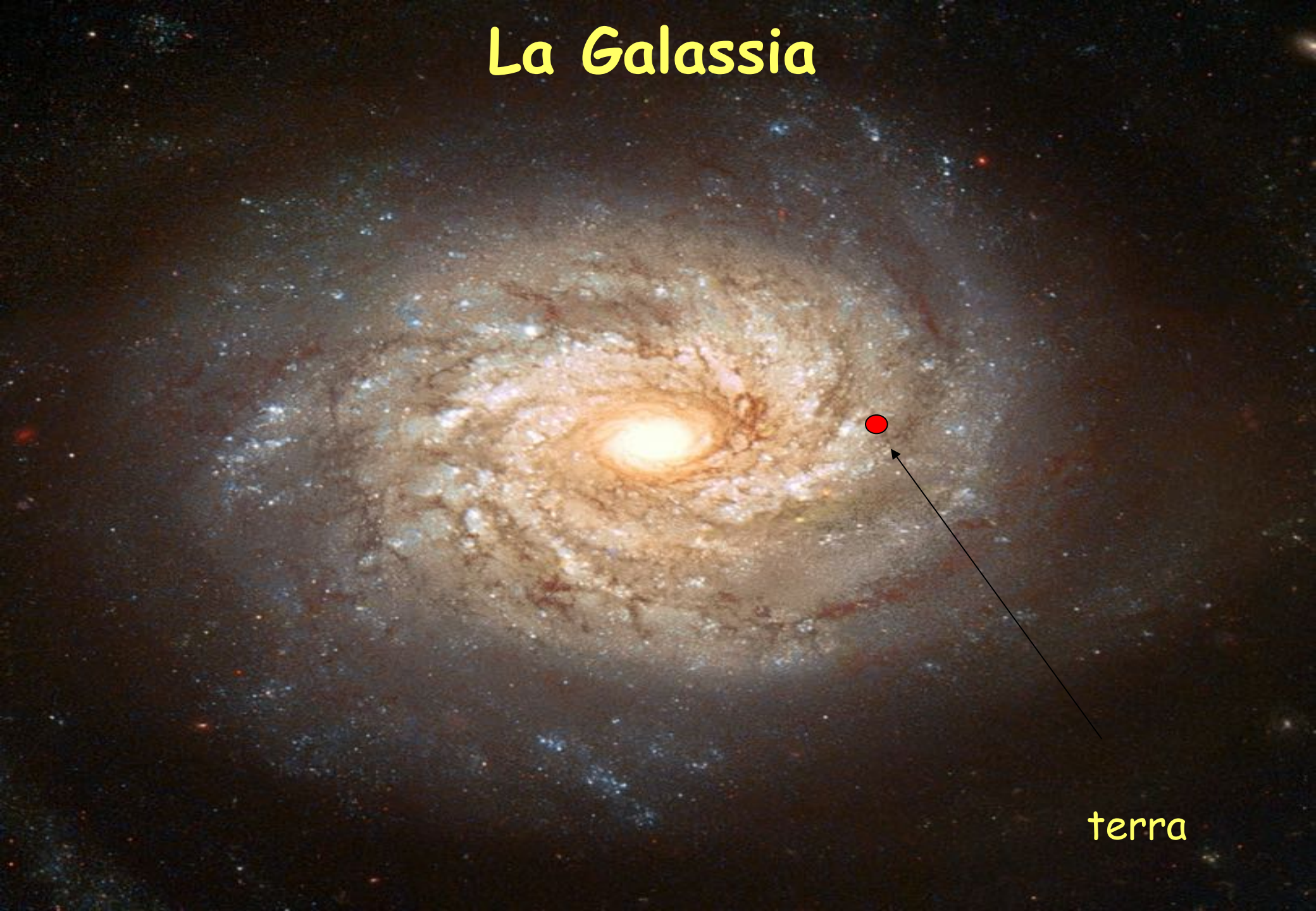
**Ma il 95 % della massa dell'universo resta di natura sconosciuta. Si tratta di una misteriosa materia ed energia oscura.**

L'esistenza della materia oscura è dedotta da misure della velocità di rotazione delle galassie. Tali misure portano a ipotizzare la presenza di un alone sferico di materia invisibile (non luminosa) nel quale sarebbe immersa ogni galassia.



La materia predominante nell'Universo e' la stessa materia di cui siamo fatti noi ?

# La Galassia



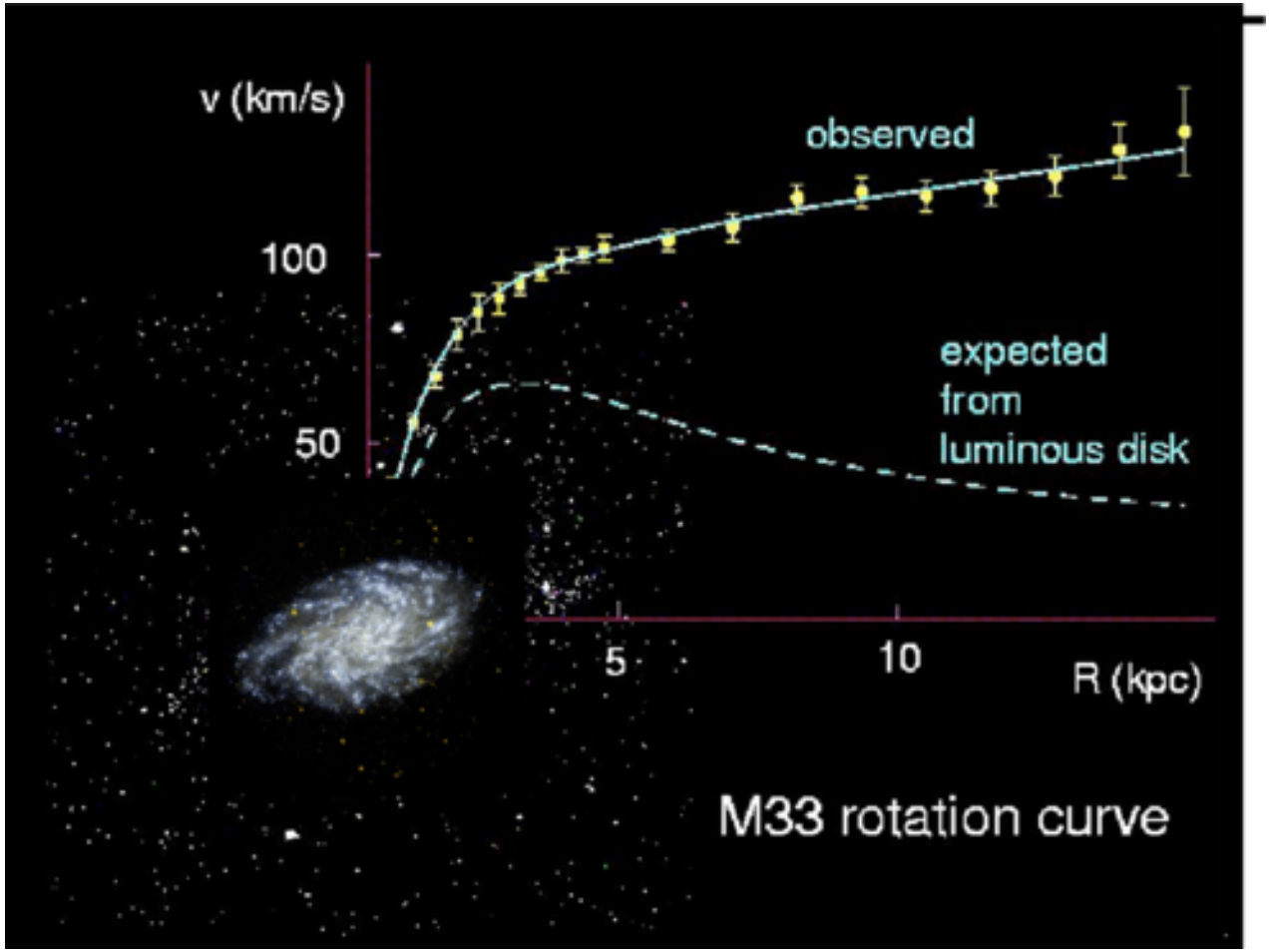
# Di cosa è fatto l'Universo?

Ora sappiamo che esiste della materia oscura, necessaria per spiegare la dinamica delle stelle nelle Galassie e delle galassie negli ammassi di Galassie.

Questa materia oscura non è composta della stessa materia di cui siamo fatti noi, ma non sappiamo ancora cos'è

- Le stelle periferiche delle galassie ruotano più velocemente della velocità di fuga e l'unica spiegazione è che ci sia più materia di quella che vediamo nella galassia. Questa è un evidenza indiretta della presenza di materia oscura.

# Evidenza di Materia Oscura nelle Galassie




**Le osservazioni evidenziano la presenza di un alone di materia oscura ("dark halo"). La materia oscura contenuta nell'alone contribuisce a determinare la "forza centripeta" e costituisce un "legame gravitazionale" che permette alle stelle della galassia, anche le più lontane, di conservare una velocità di rotazione di circa 250 km/s**

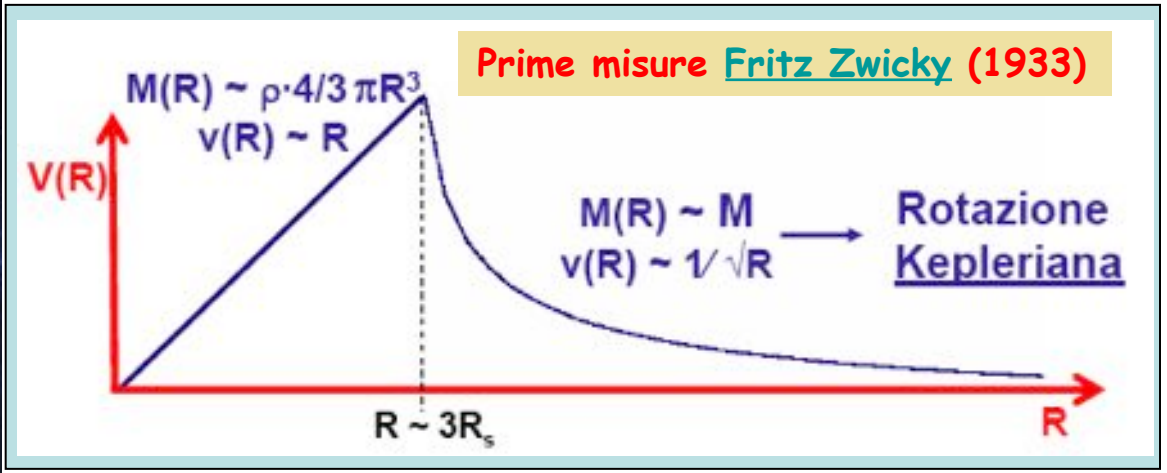
# Evidenza di Materia Oscura nelle Galassie

**Dalle leggi fondamentali della meccanica sappiamo che una stella di massa m in rotazione in una Galassia deve soddisfare la relazione**

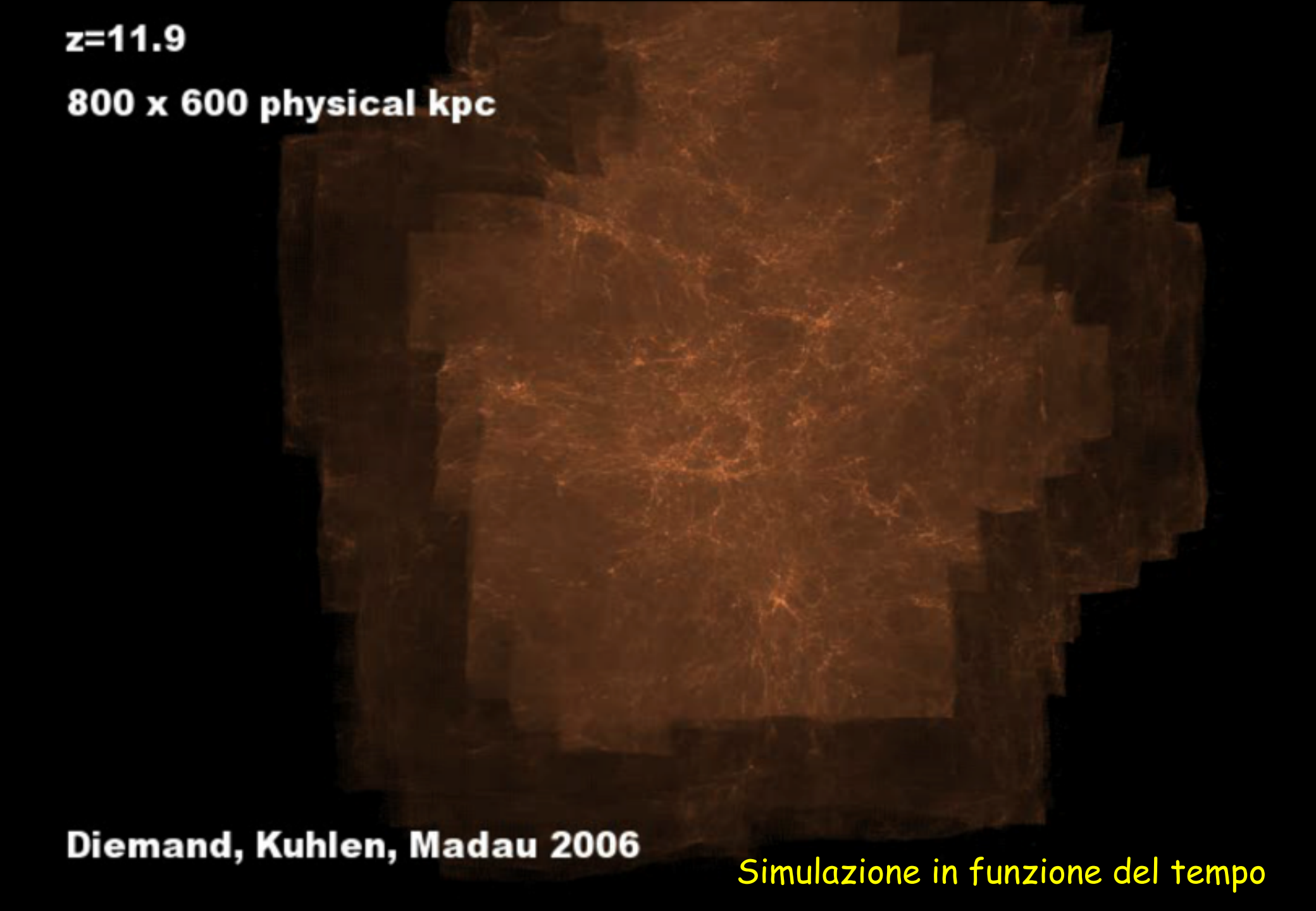
$$F = ma = m\frac{v^2}{R} = m\frac{G\cdot M(R)}{R^2} \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{G\cdot M(R)}{R}}$$

acc. centripeta

acc. gravitazionale



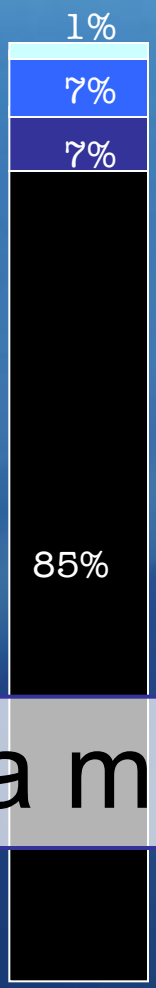

*Si misurano le velocità orbitali delle stelle in galassie a spirale (Via Lattea, M31) e si confrontano le misure con l'andamento "Kepleriano" della velocità in funzione dal centro della Galassia in questione.*




Simulazione in funzione del tempo

Distribuzione della materia oscura secondo le simulazioni

# Inventario della materia nell'Universo

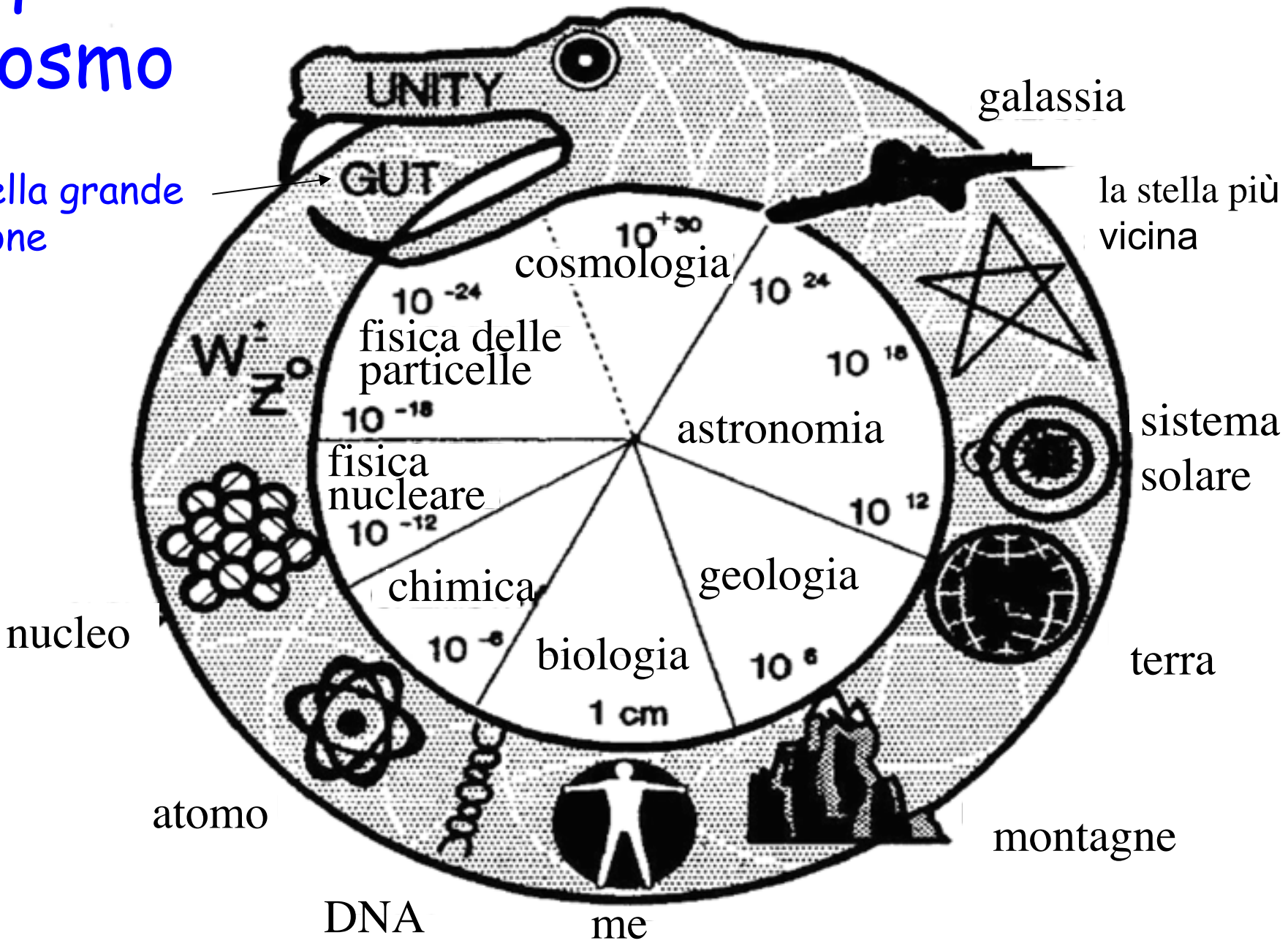



Allora, cos'è la materia oscura?

Solo il 15% della materia dell'Universo è composta della stessa materia di cui siamo fatti noi . Una nuova rivoluzione Copernicana !

ma come si fa a scoprire di cosa è fatta la materia oscura ?

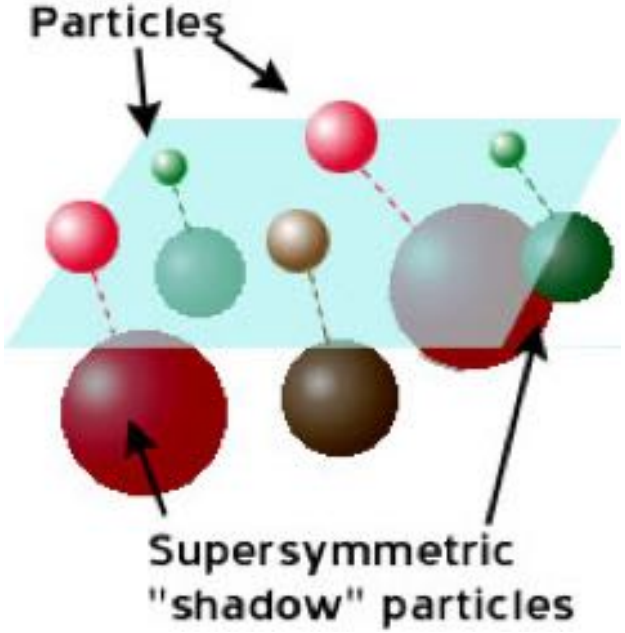
# Dai quark al Cosmo



viale
dell'Astronomia
via
della Fisica

# Supersimmetria

## Particella ⟺ Partner supersimmetrico




è possibile che la materia oscura sia formata dalla particella supersimmetrica più leggera, unico rimansta dopo il Big bang

**E' anche possibile che il nostro universo a quattro dimensioni (spazio-tempo) non sia che la parte visibile di un mondo costituito in realtà da dimensioni supplementari.**

Se la teoria della supersimmetria fosse vera, la particella supesimmetrica più leggera potrebbe essere la principale componente della materia oscura.

Un modo per scoprirlo è quello di osservare il cielo nei raggi gamma per vedere se ci sono annichilazioni di particelle supersimmetriche che, secondo la legge $E=mc^2$, darebbero raggi gamma, antiprotoni e positroni

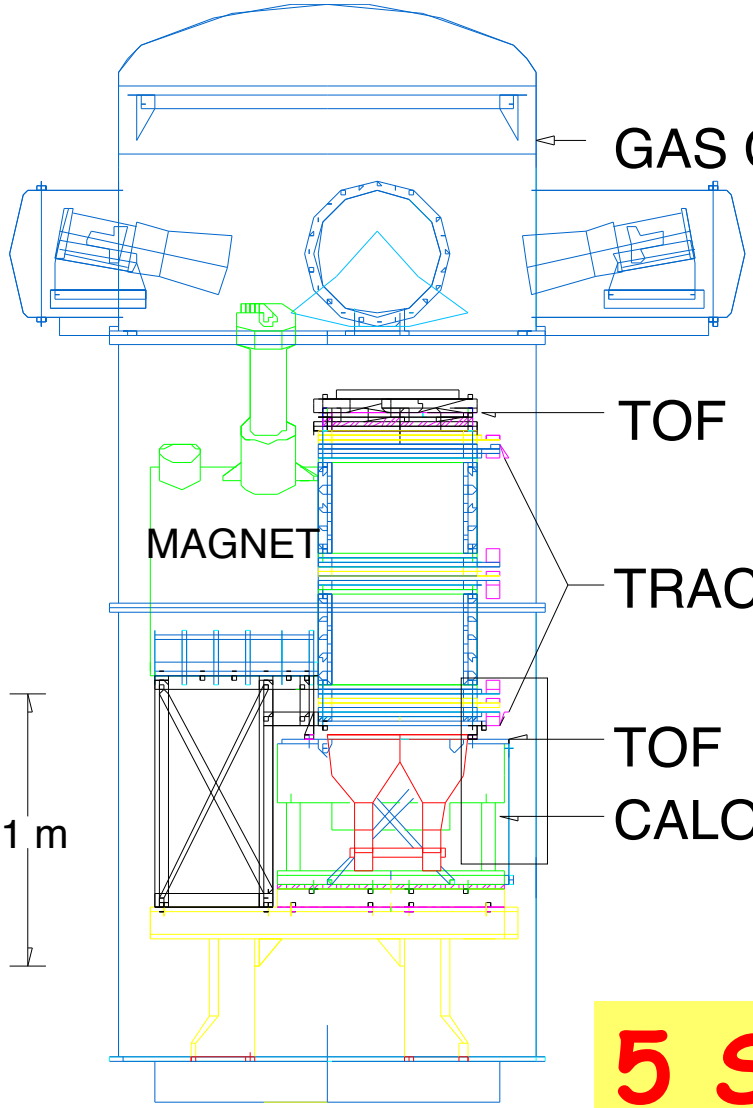
# Neutralino WIMPs

Assumiamo che $\chi$ sia presente nella galassia

- $\chi$ è l'antiparticella di se stessa e può annichilare prducendo raggi gamma, antiprotoni e positroni
- L'antimateria non è prodotta in grandi quantità nei processi standard (produzione secondaria attraverso p + p **-->** anti p + X)
- Quindi qualsiasi contributo extra da sorgenti esotiche è interessante
- per esempio: $\chi$ $\chi$ --> anti p + X
- prodotti (per esempio) $\chi$ $\chi$ **-->** q / g / gauge boson / Higgs boson

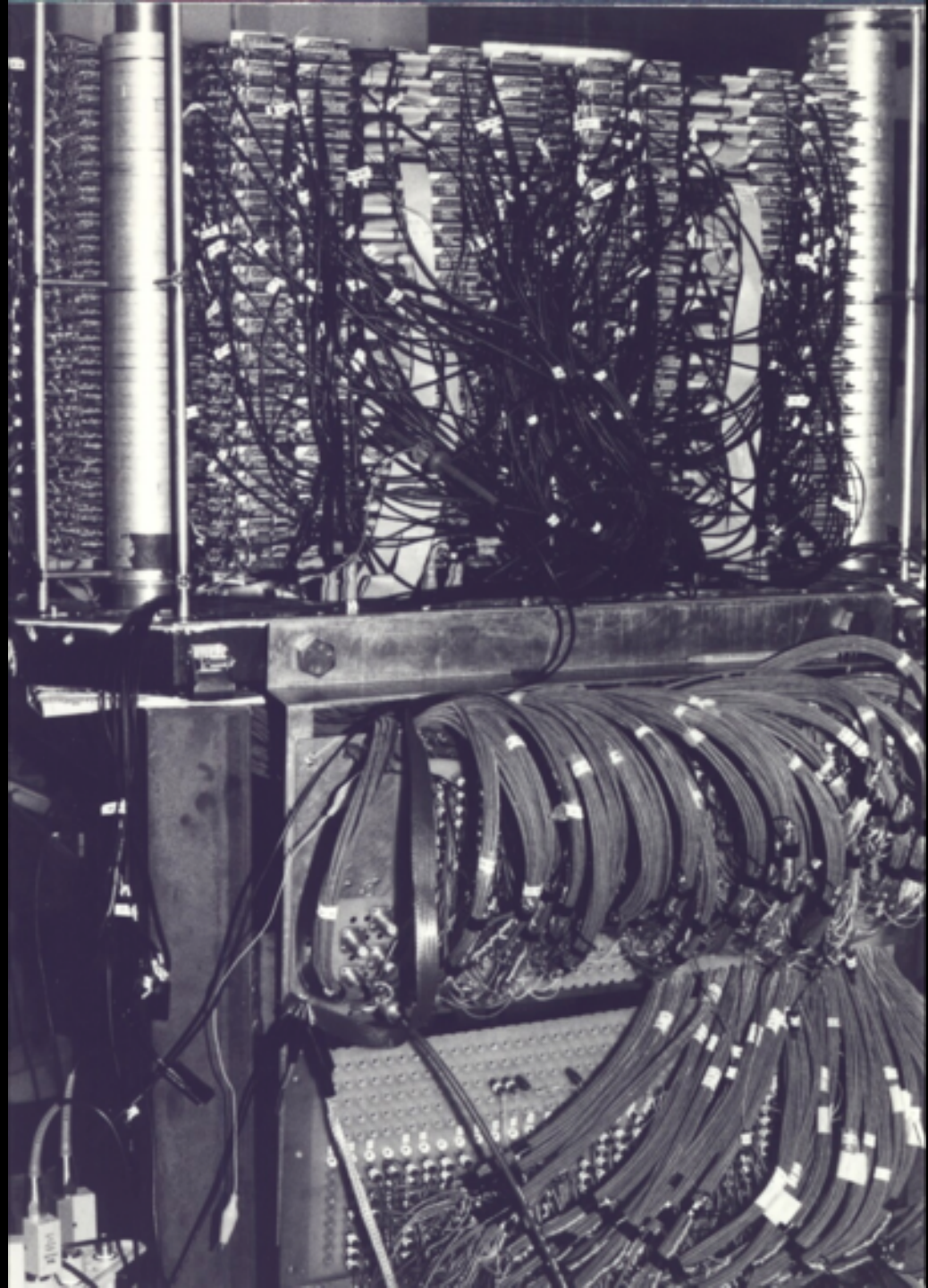
e decadimenti successivi adronizzazione

# MASS Matter Antimatter Space Spectrometer



**5 September 1989**

# il Calorimetro di MASS89



# il Calorimetro di MASS89

# da Las Cruces a Prince Albert

# il laboratorio era  un hangar !!

pausa di relax (in attesa del vento favorevole)

il giorno del lancio

MASS 89 :il recupero

MASS 89

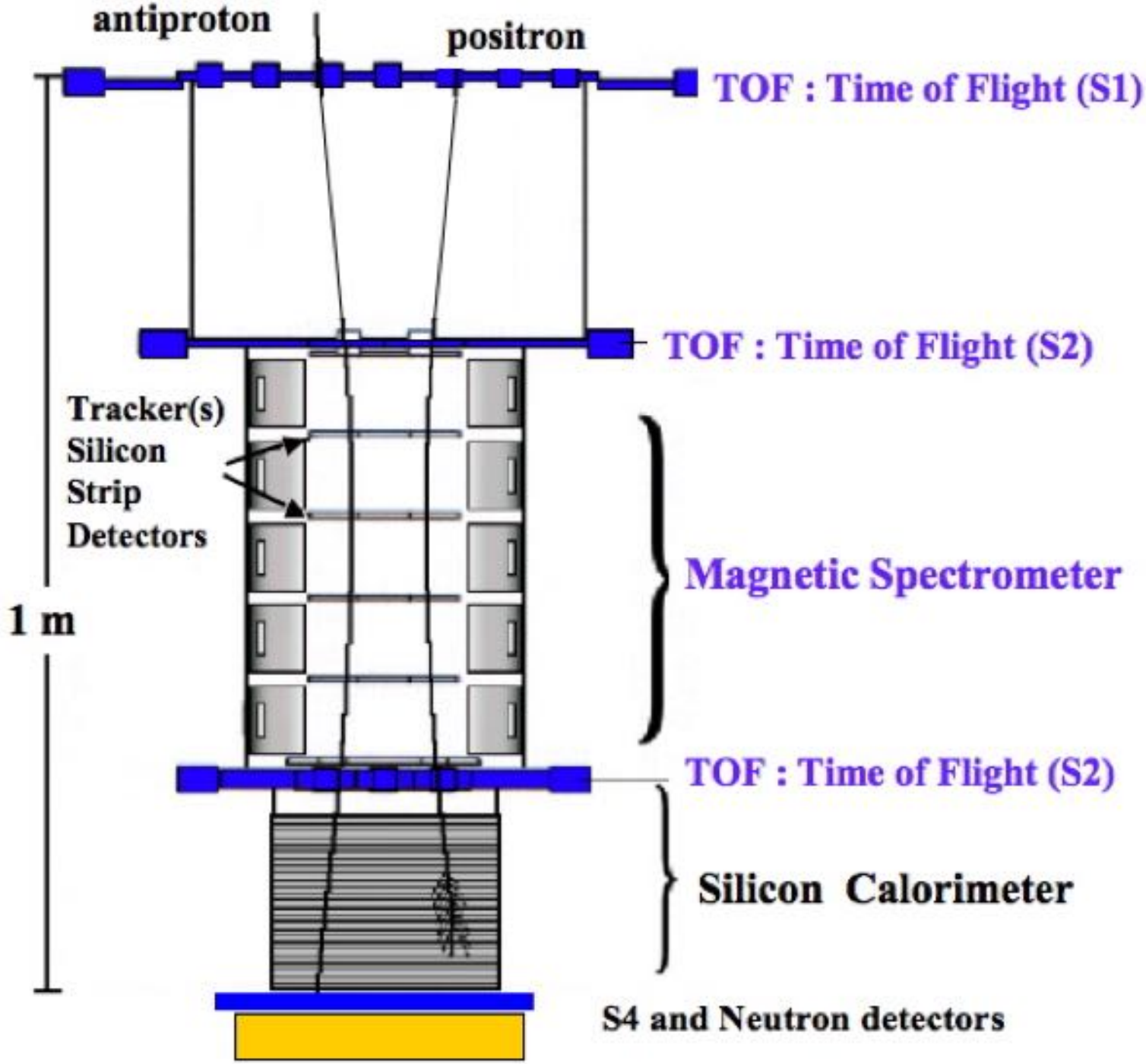
MASS 89

# PAMELA

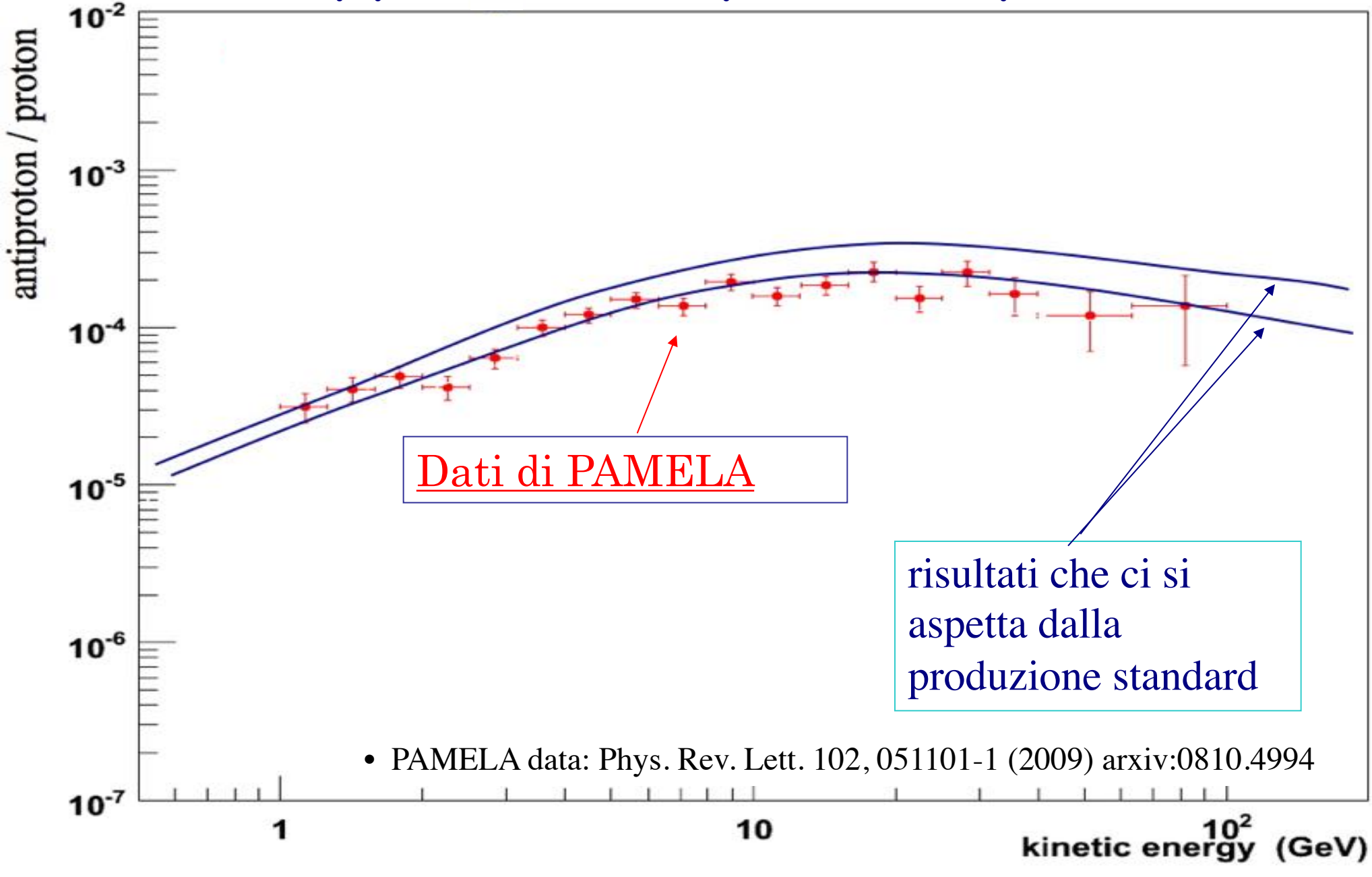
**P**ayload for **A**ntimatter
**M**atter **E**xploration and
**L**ight Nuclei **A**strophysics

In orbita dal Jugno 2006, a bordo del satellite DK1 lanciato da un razzo Soyuz dalla base di lancio di Bajkonour

# Pamela

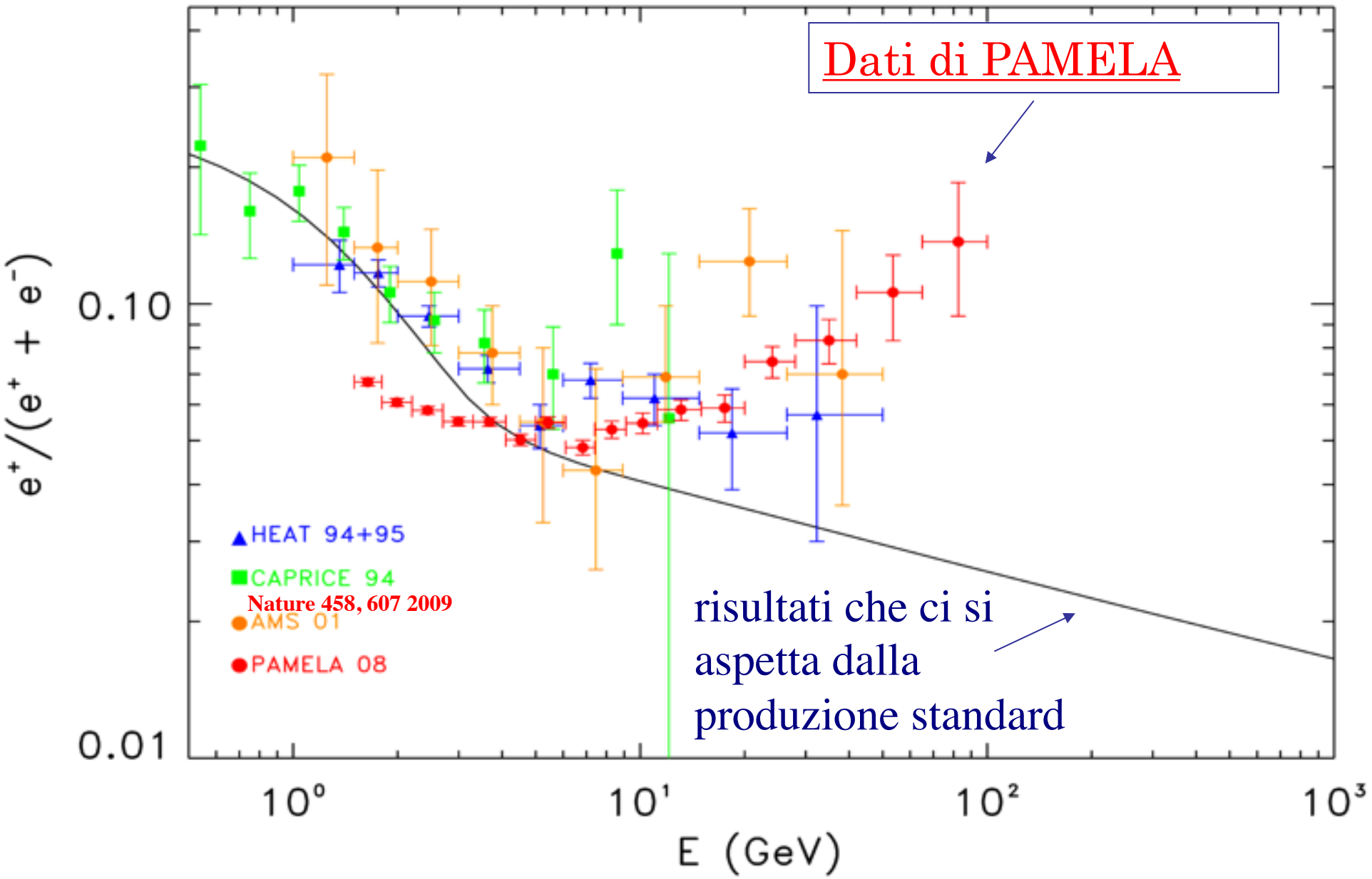

antiproton
positron
TOF : Time of Flight (S1)
TOF : Time of Flight (S2)
Tracker(s)
Silicon
Strip
Detectors
1 m
Magnetic Spectrometer
TOF : Time of Flight (S2)
Silicon Calorimeter
S4 and Neutron detectors

# Rapporto Antiprotoni/protoni



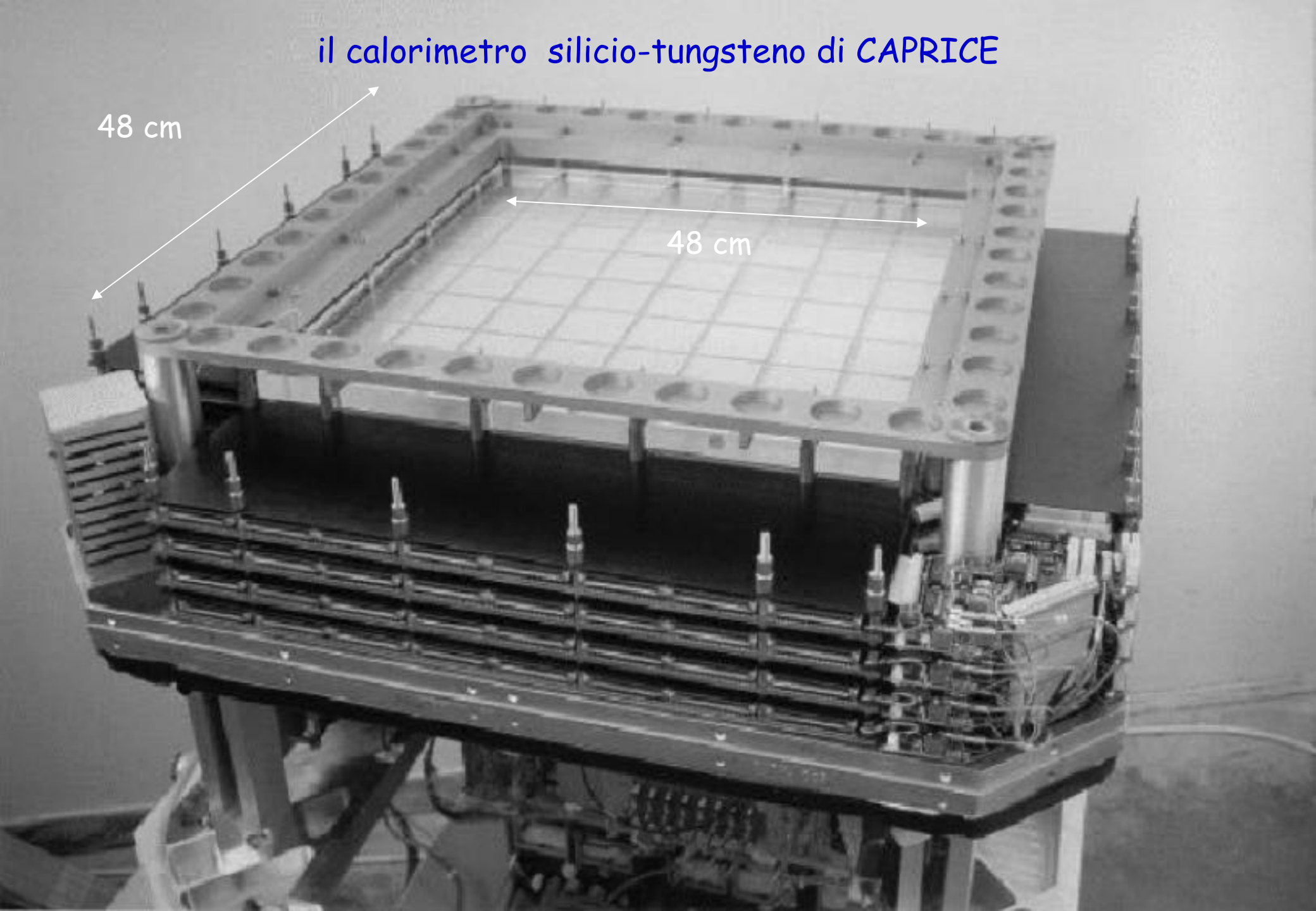

- PAMELA data: Phys. Rev. Lett. 102, 051101-1 (2009) arxiv:0810.4994

# 2009: rapporto positroni / (elettroni+positroni)

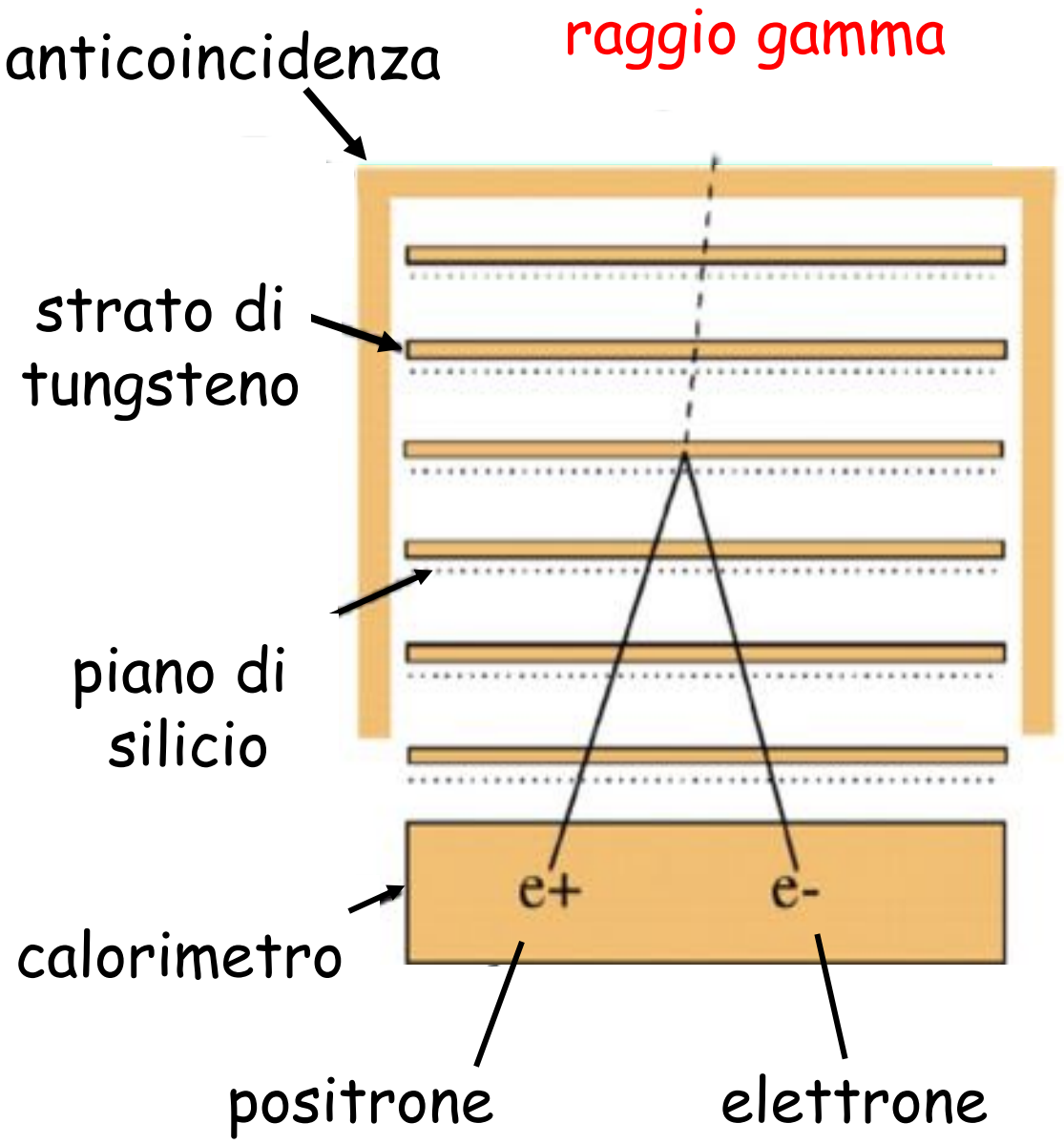


# Il volo di CAPRICE 94

# il calorimetro silicio-tungsteno di CAPRICE

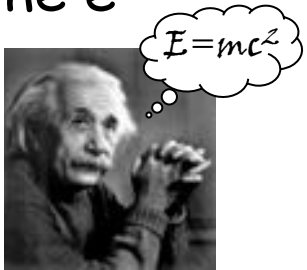


# Rivelare i raggi gamma

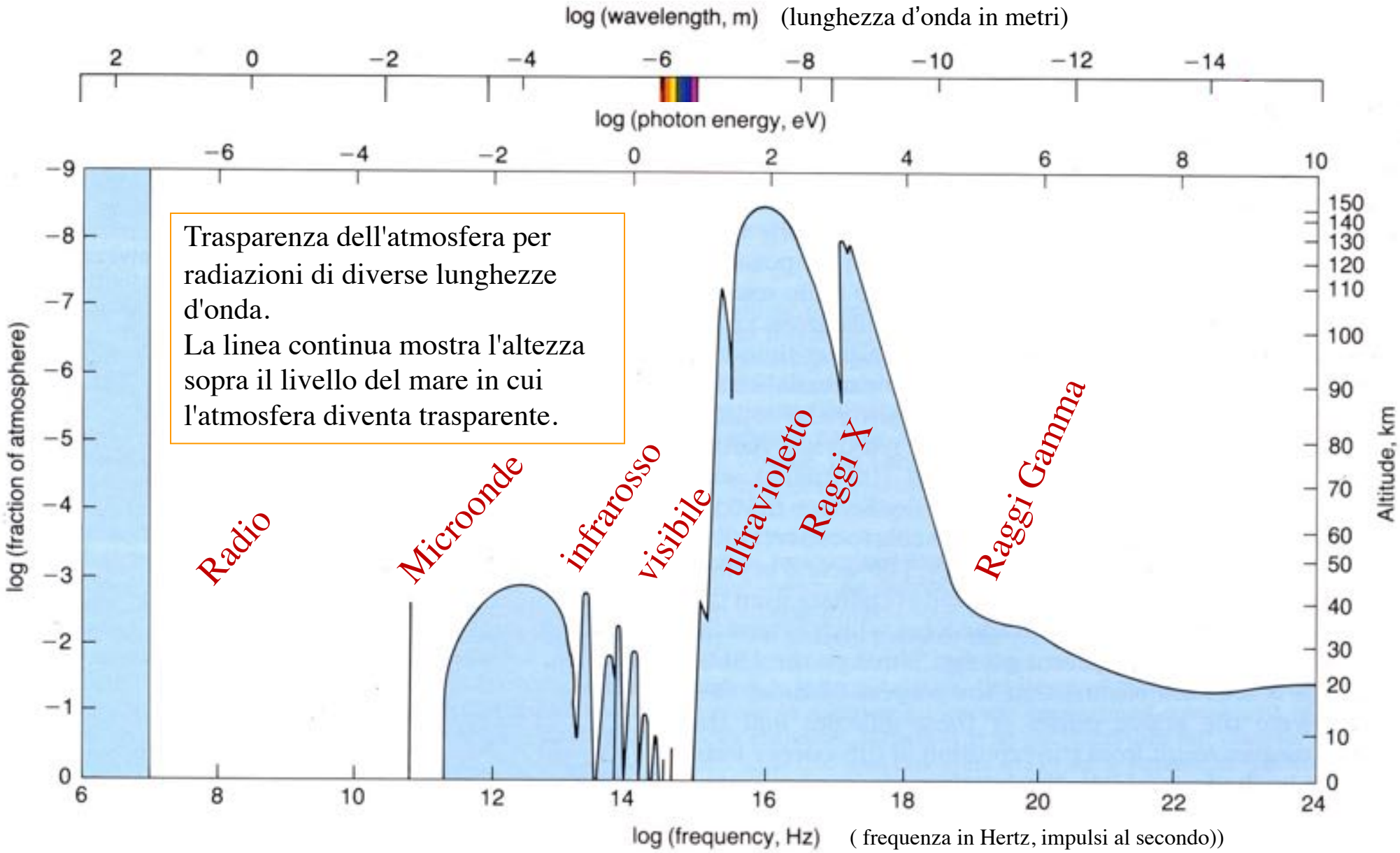



La produzione di coppia elettrone - positrone avviene attraverso la trasformazione dell'energia elettromagnetica associata al fotone (il raggio gamma) quando interagisce con il campo elettromagnetico del nucleo pesante ( tungsteno, piombo). Questo è possibile grazie a:

- l'equivalenza energia-massa $E=mc^2$
- il meccanismo quantistico di interazione tra il fotone e il campo elettromagnetico



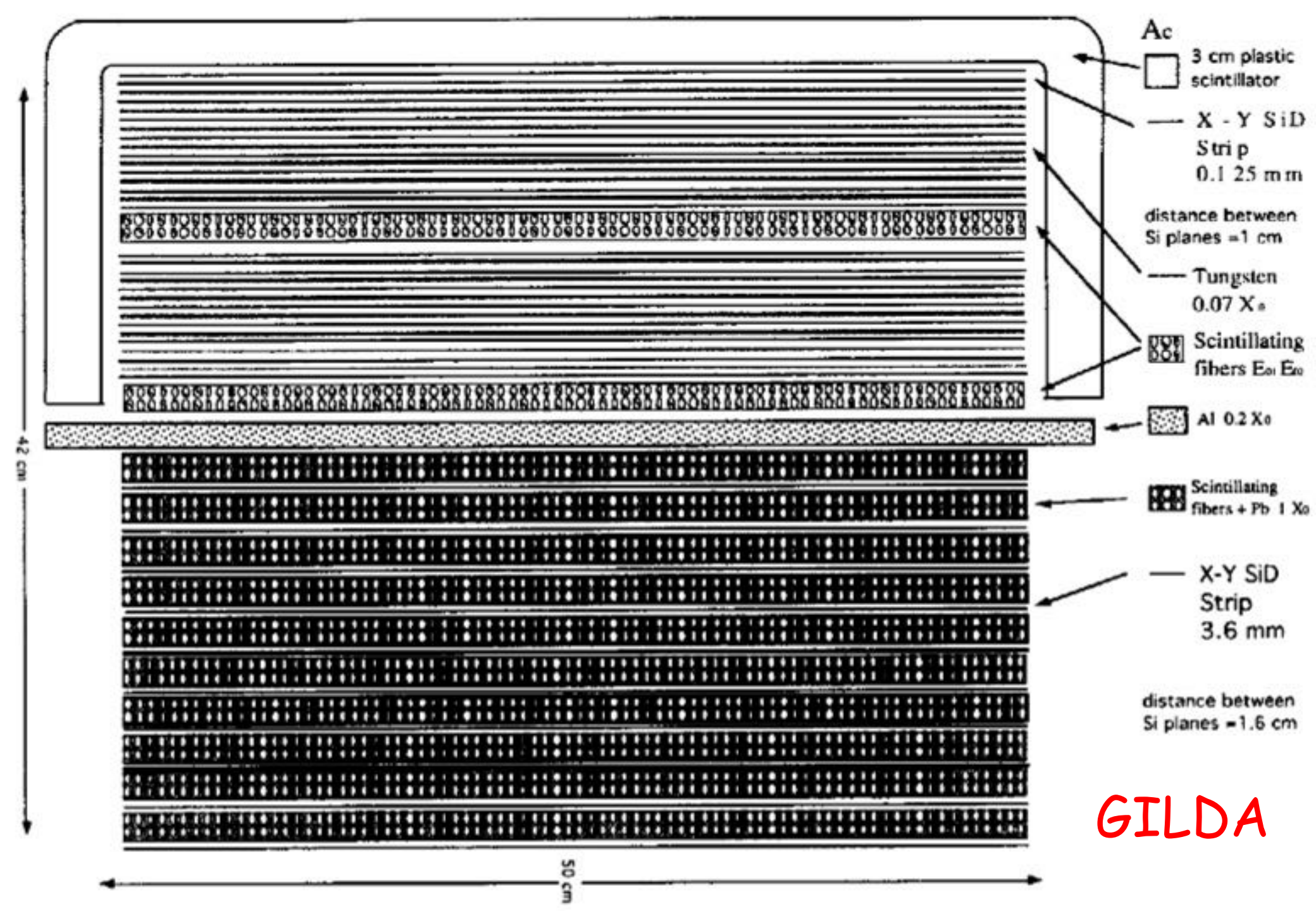
# Trasparenza dell'atmosfera



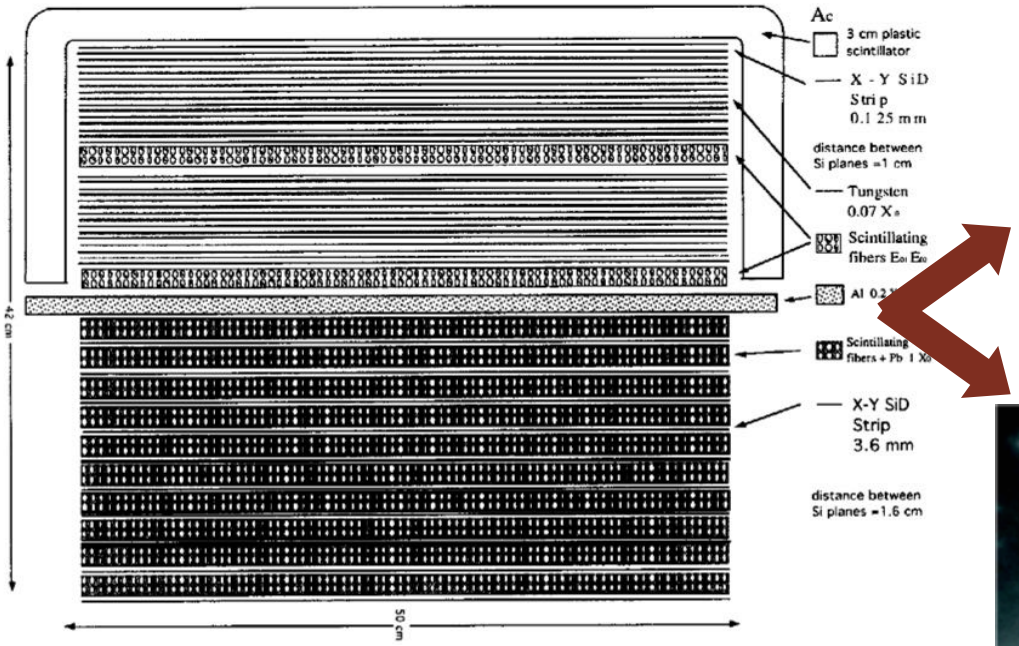

Trasparenza dell'atmosfera per radiazioni di diverse lunghezze d'onda.
La linea continua mostra l'altezza sopra il livello del mare in cui l'atmosfera diventa trasparente.

# Onde Radio, raggi di sole, fotoni Gamma

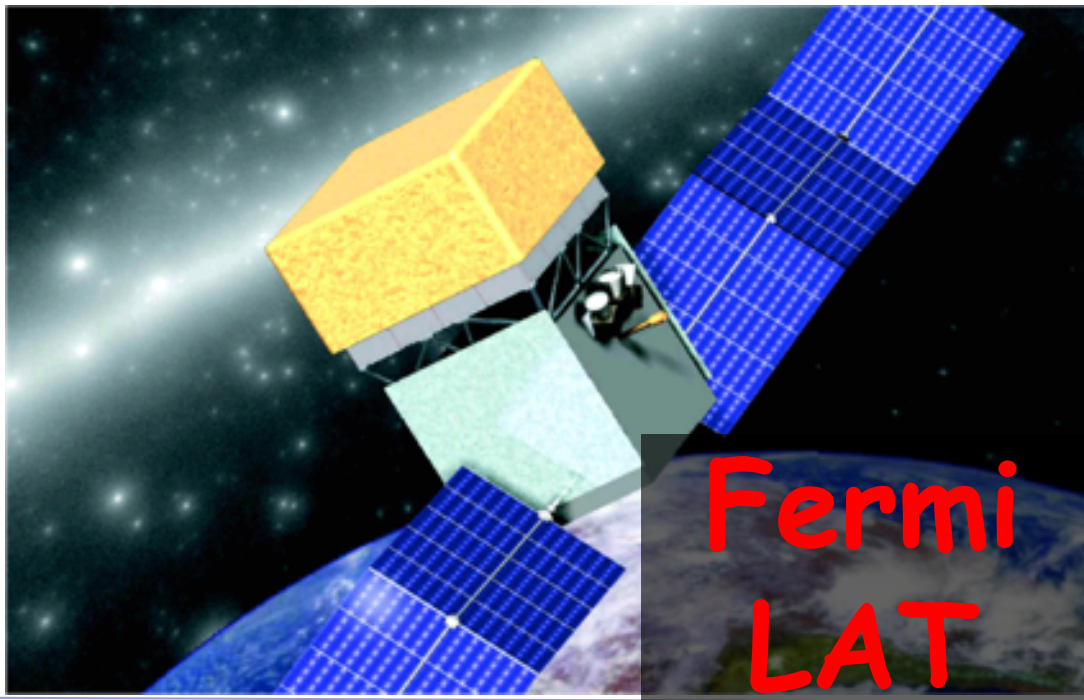
## Come si rivelano?


Ac
3 cm plastic scintillator
X - Y SiD Strip 0.125 mm
distance between Si planes =1 cm
Tungsten 0.07 X0
Scintillating fibers E0 E0
Al 0.2 X0
Scintillating fibers + Pb 1 X0
X-Y SiD Strip 3.6 mm
distance between Si planes =1.6 cm
42 cm
50 cm
GILDA

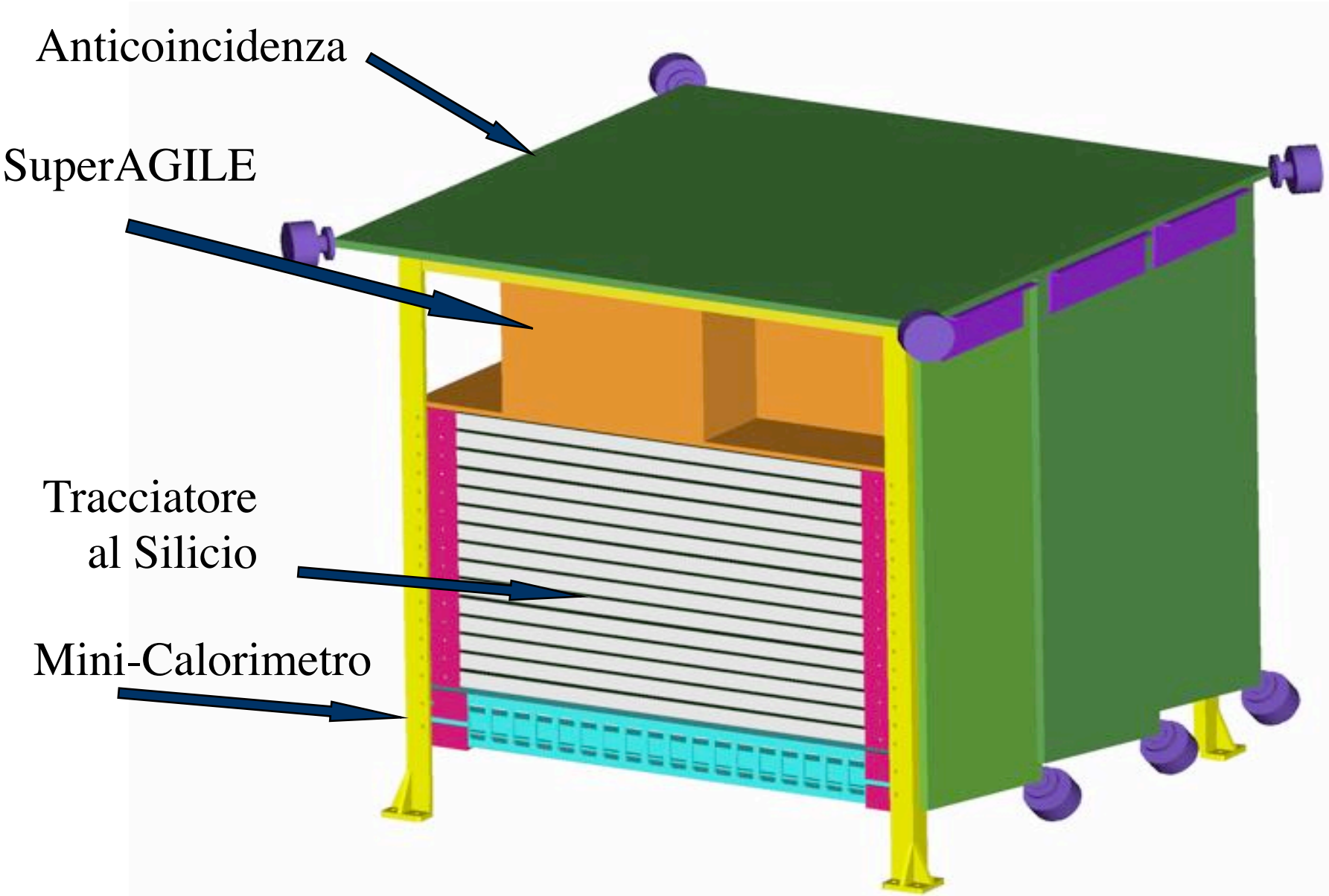
# GILDA


Ac
3 cm plastic scintillator
X - Y SiD Strip 0.1 25 mm
distance between Si planes =1 cm
Tungsten 0.07 X₀
Scintillating fibers
Scintillating fibers + Pb 1 X₀
X-Y SiD Strip 3.6 mm
distance between Si planes =1.6 cm
42 cm
50 cm

agile
Astro-rivelatore Gamma a Immagini Leggero


Fermi LAT

# La tecnologia di AGILE



# AGILE : Istituti e Industrie coinvolte

TOR VERGATA

agenzia spaziale italiana

INAF

INFN

CARLO GAVAZZI

Carlo Gavazzi Space SpA

ALCATEL ALENIA SPACE

An Alcatel/Finmeccanica company

OERLIKON CONTRAVES

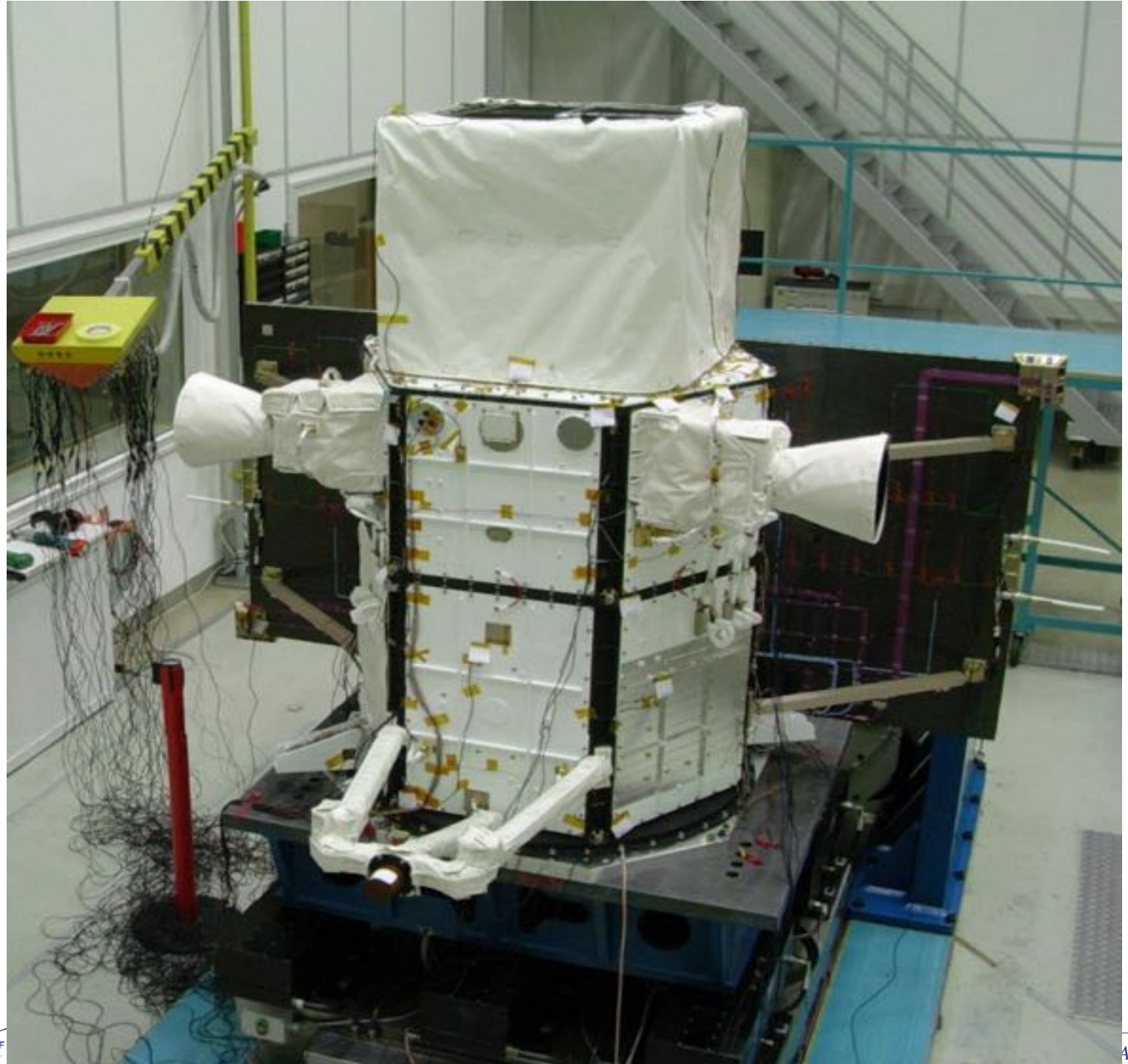
telespazio

A Finmeccanica/Alcatel company

Galileo Avionica

MIPOT

ENEA



**AGILE Satellite (IABG, Munich June 16, 2006)**

# AGILE in Sriharikota, April 10, 2007

PSLV-C8 launch, 23 Apr. 2007

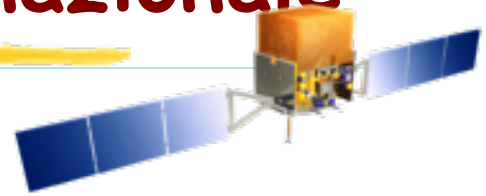
# AGILE

23 April 2007

**Happy 12th Birthday Agile !!**

# Il Telescopio di raggi Gamma FERMI

# Fermi : una collaborazione internazionale



**American Institutions**

SU-HEPL Stanford University, Hanson Experimental Physics Laboratory , ,
SU-SLAC Stanford Linear Accelerator Center, Particle Astrophysics group
GSFC-NASA-LHEA Goddard Space Flight Center, Laboratory for High Energy Astrophysics
NRL - U. S. Naval Research Laboratory, E. O. Hulburt Center for Space Research, X-ray and gamma-ray branches
UCSC- SCIPP University of California at Santa Cruz, Santa Cruz Institute of Particle Physics
SSU- California State University at Sonoma, Department of Physics & Astronomy , WUStL-Washington University, St. Louis
UW- University of Washington , TAMUK- Texas A&M University-Kingsville, Ohio State University

**Italian Institutions** INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare and Univ. of Bari, Padova, Perugia, Pisa, Roma Tor Vergata, Trieste, Udine
ASI - Italian Space Agency
IASF- Milano, Roma

**Japanese Institutions** University of Tokyo
ICRR - Institute for Cosmic-Ray Research
ISAS- Institute for Space and Astronautical Science
Hiroshima University

**French Institutions** CEA/DAPNIA Commissariat à l'Energie Atomique, Département d'Astrophysique, de physique des Particules, de physique Nucliaire et de l'Instrumentation Associée, CEA, Saclay
IN2P3 Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules, IN2P3
IN2P3/LPNHE-X Laboratoire de Physique Nucléaire des Hautes Energies de l'École Polytechnique
IN2P3/PCC Laboratoire de Physique Corpusculaire et Cosmologie, Collège de France
IN2P3/CENBG Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan
IN2P3/LPTA Laboratoire de Physique Theorique et Astroparticules, Montpellier

**Swedish Institutions** KTH Royal Institute of Technology
Stockholms Universitet

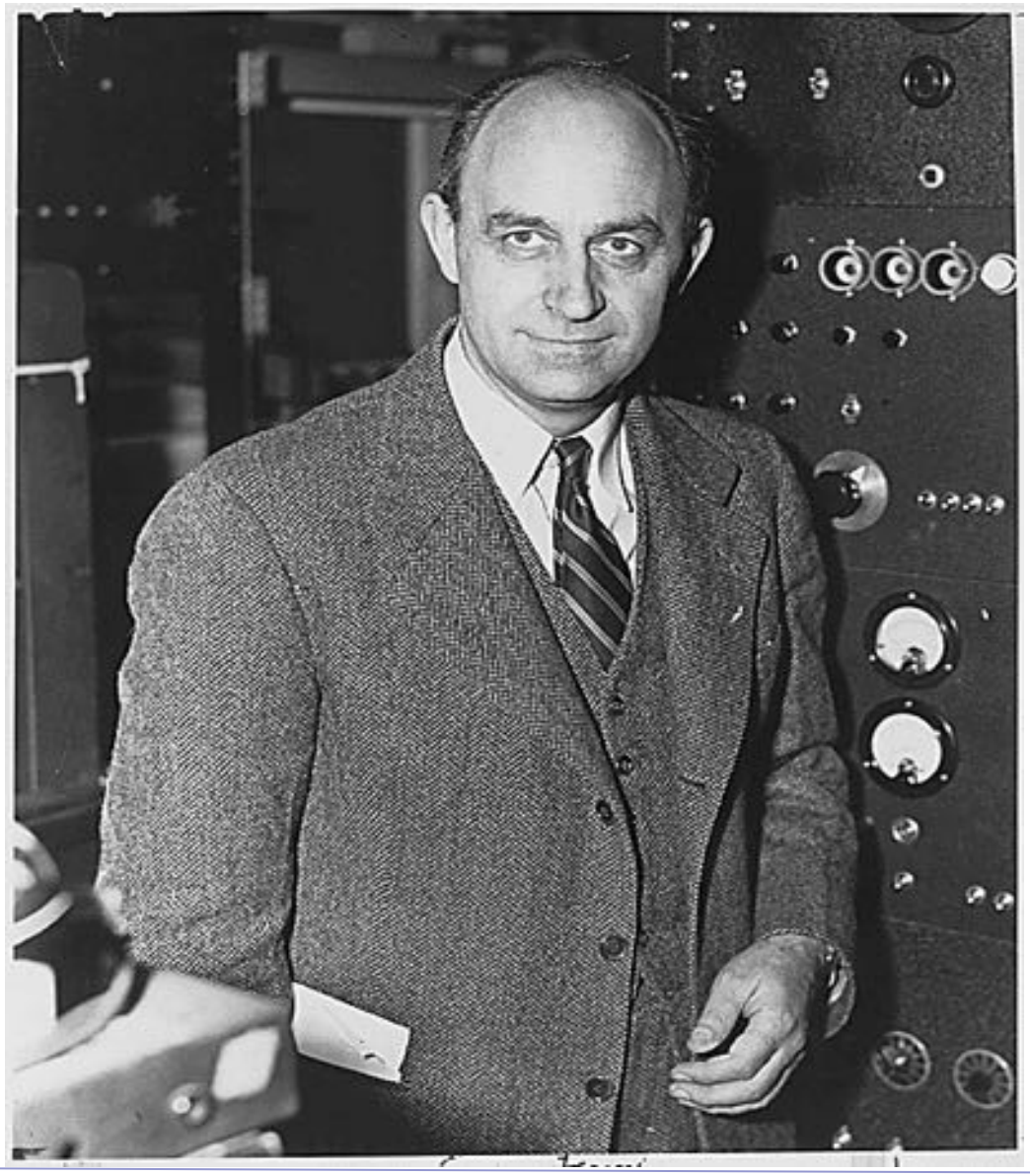
| | |
|---|---|
| **Collaboration members:** | **~390** |
| **Members:** | **121** |
| **Affiliated Scientists** | ~96 |
| **Postdocs:** | 68 |
| **Graduate Students** | 105 |

# Il Satellite Fermi

- Fermi Gamma-Ray Space Telescope è una missione spaziale internazionale per lo studio della radiazione gamma di origine astrofisica
- Il satellite è composto da 2 strumenti:
  - Il Gamma-Ray Burst Monitor (GBM)
    - Effettua misure di GRB e eventi transienti ad energie tra 8 keV e 40 MeV
  - Il Large Area Telescope (LAT)
    - Effettua misure di raggi gamma ad energie tra 20 MeV e oltre 300 GeV

# Fermi Gamma-ray Space Telescope

DoE – NASA – international partnership



GLAST renamed *Fermi* by NASA on August 26, 2008

http://fermi.gsfc.nasa.gov/

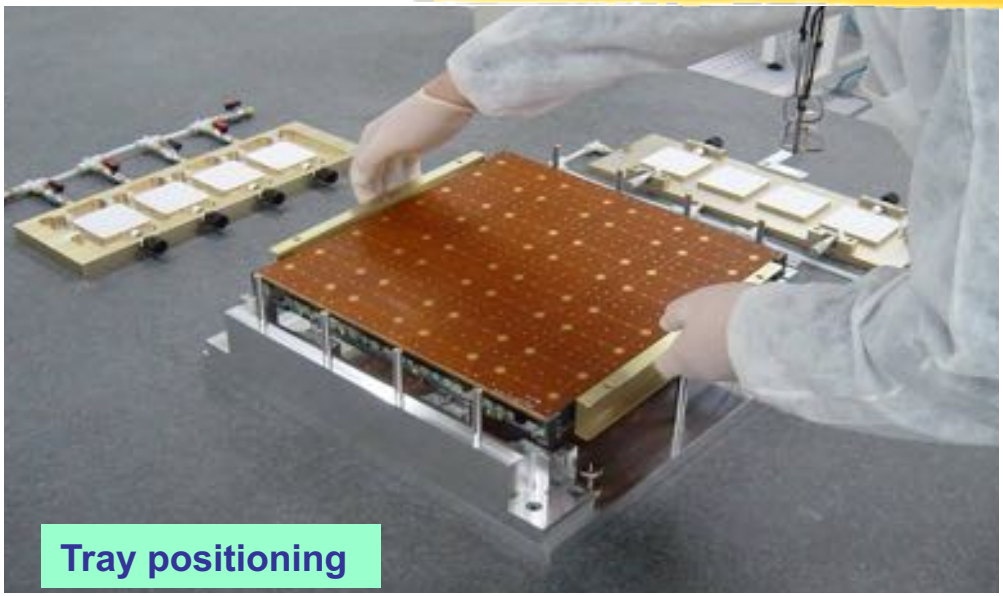
“ Enrico Fermi (1901-1954) was an Italian physicist who immigrated to the United States. He was the first to suggest a viable way to produce high-energy particles in cosmic sources. Since gamma-rays are produced by interactions of such energetic particles, his work is the foundation for many of the studies being done with the **Fermi Gamma-ray Space Telescope**, formerly GLAST.

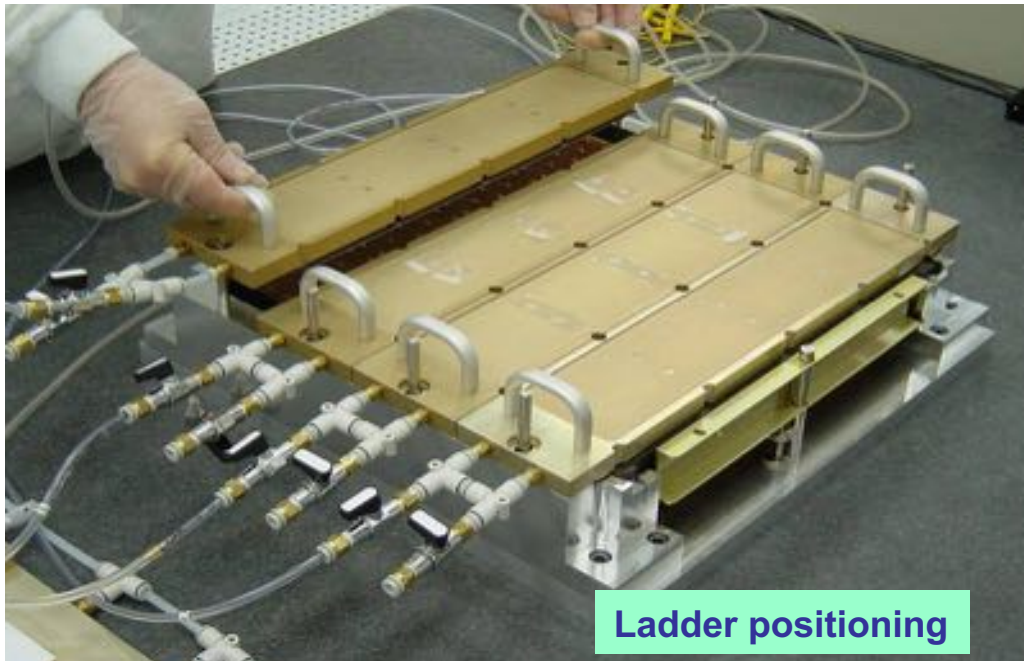
# Il Telescopio di raggi gamma Fermi

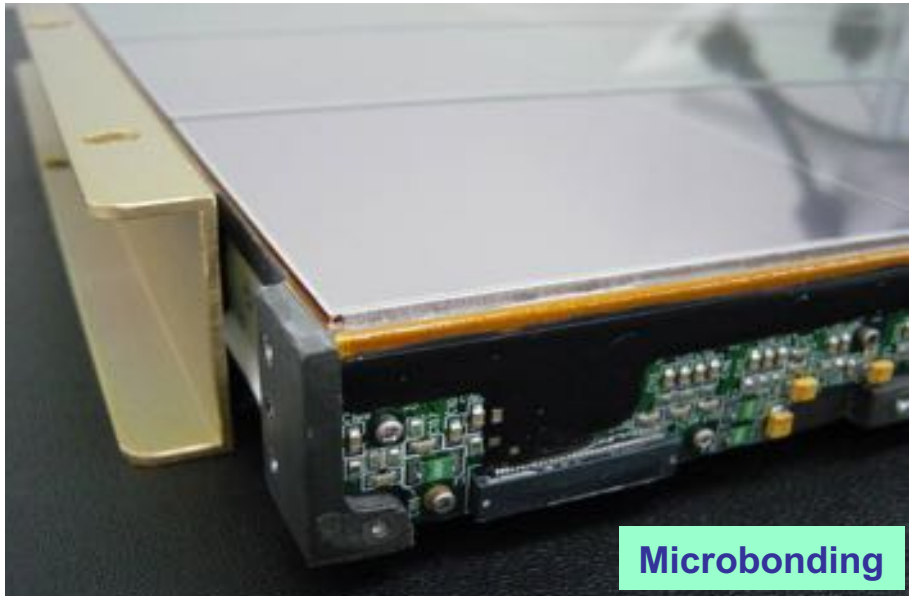
Large Area Telescope

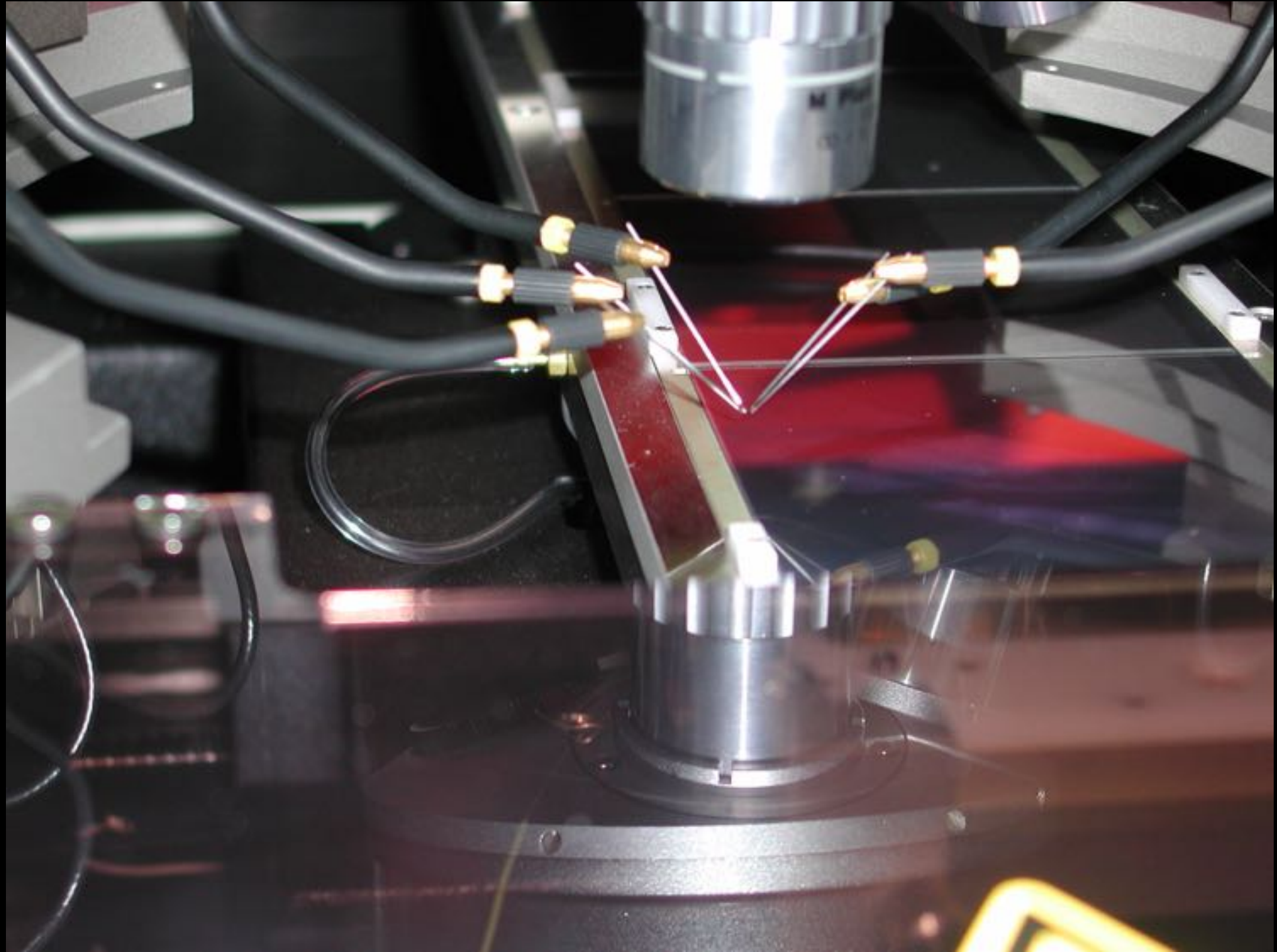
Gamma ray Burst Monitor

# Assemblaggio presso la G&A ad Oricola

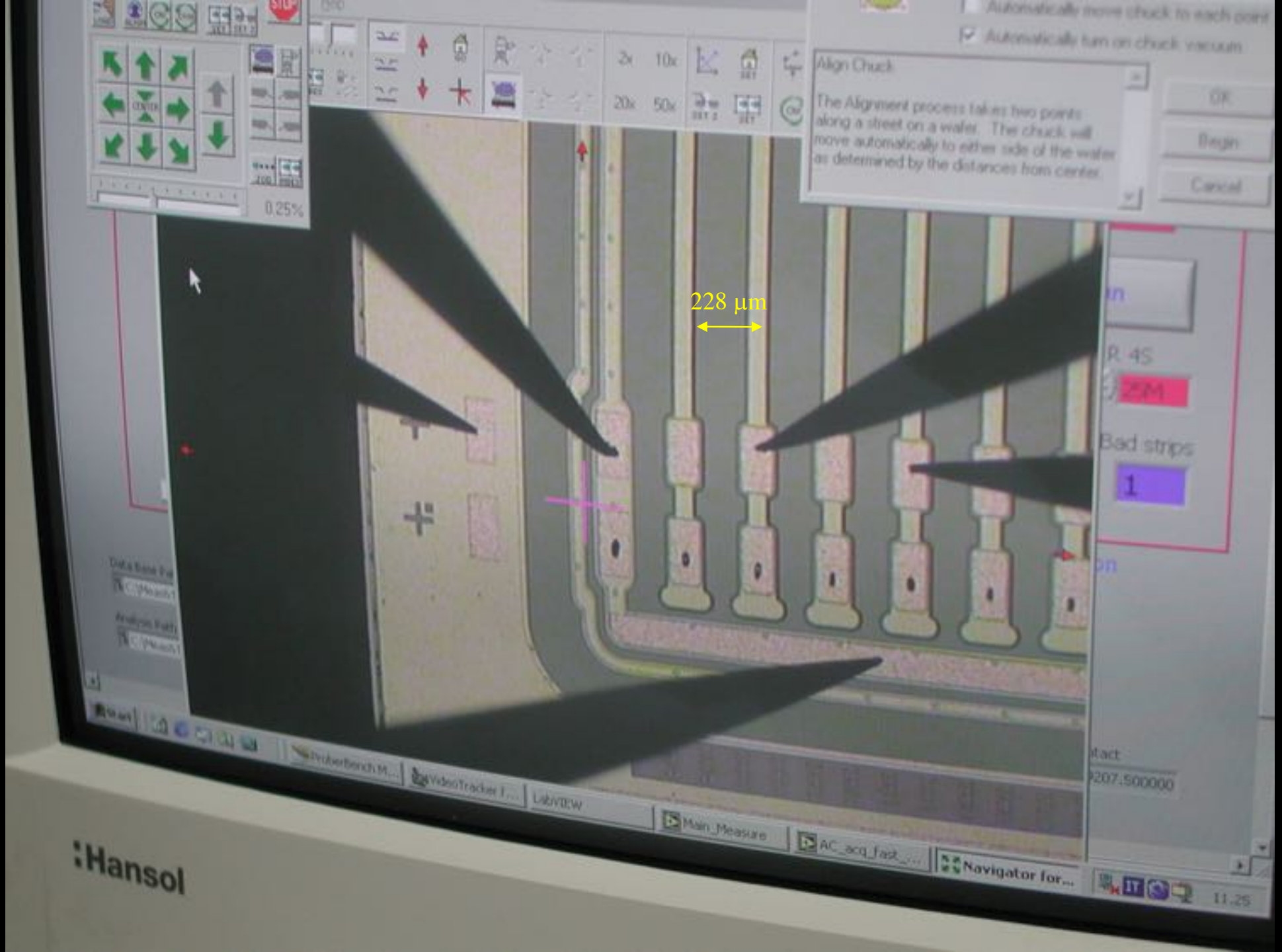


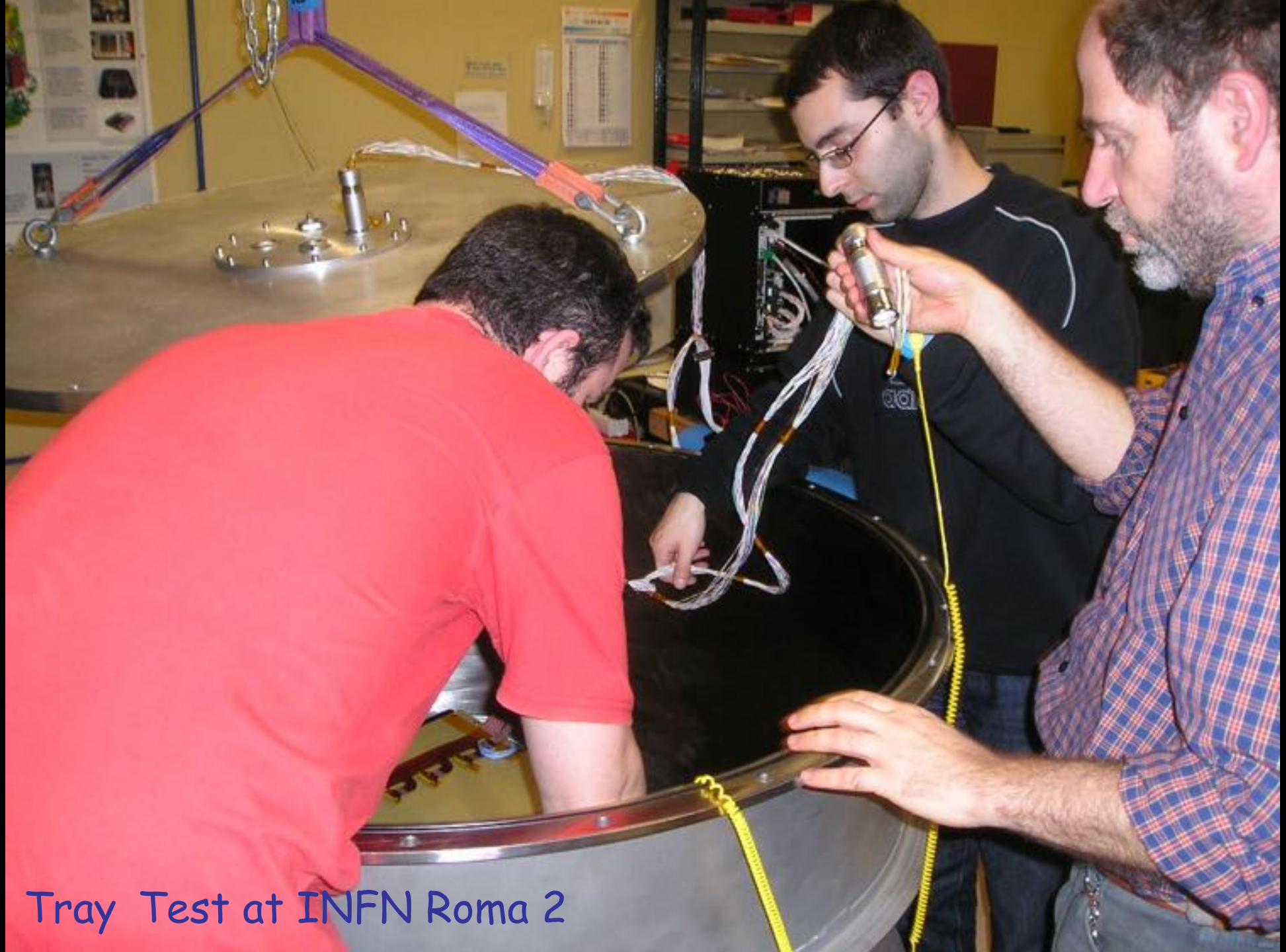





Tray Test at INFN Roma 2

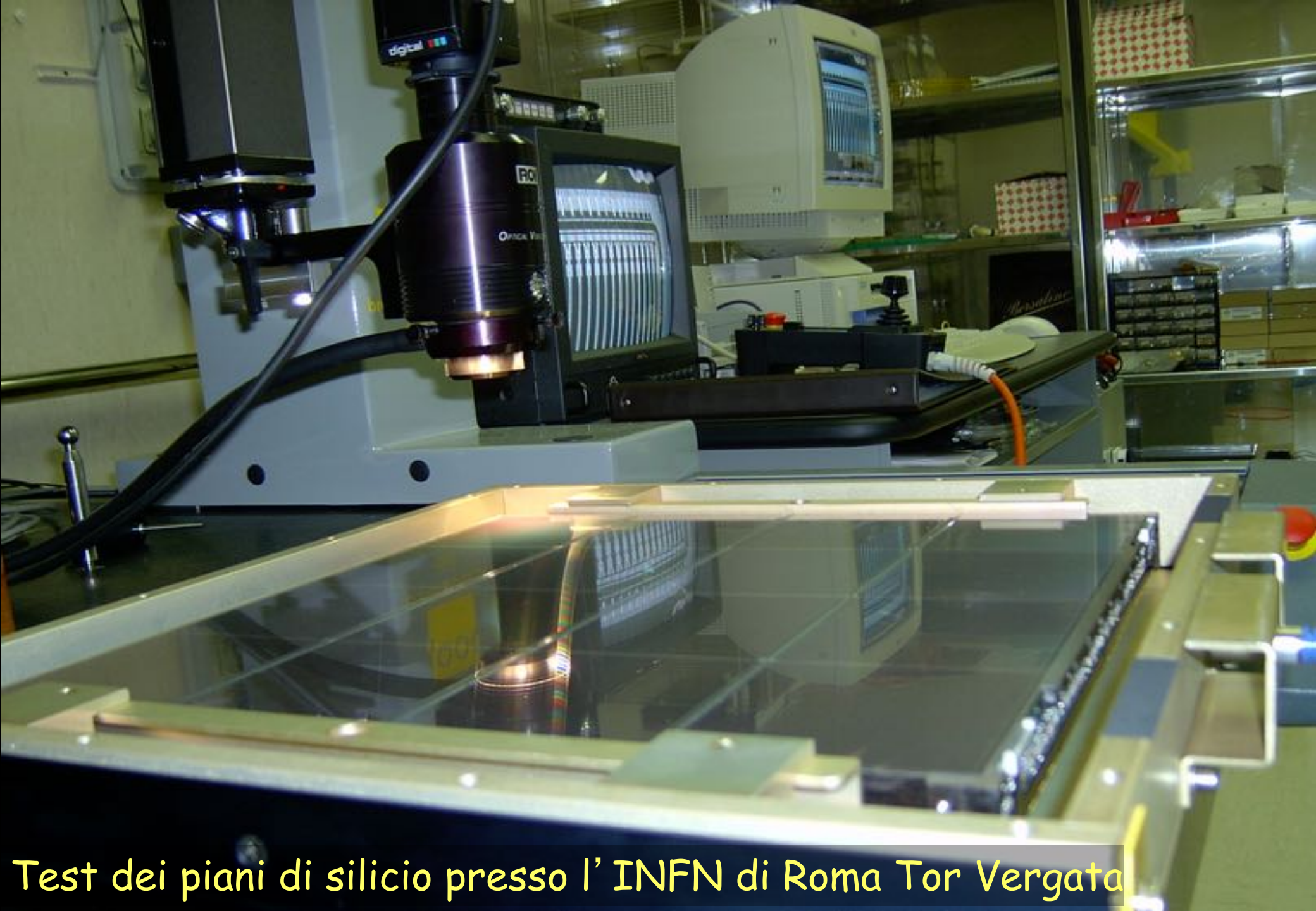

228 µm
Align Chuck
The Alignment process takes two points along a street on a wafer. The chuck will move automatically to either side of the wafer as determined by the distances from center.
OK
Begin
Cancel
Bad strips
1
Hansol

LAMINAR FLOW
1200
PROIBITO FUMARE
VIETATO L'ACCESSO



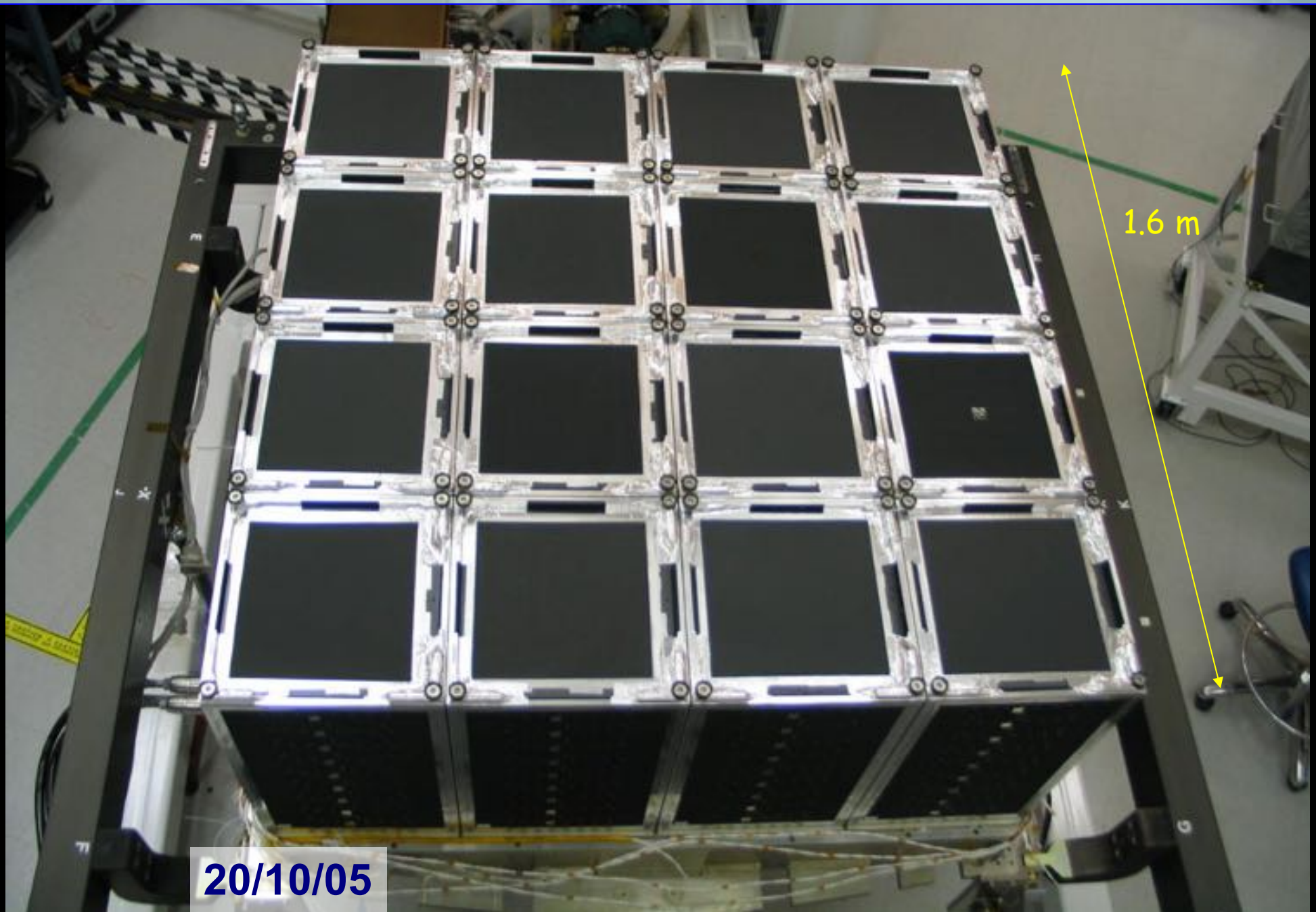
Tray Test at INFN Roma 2

INFN Roma
Tor Vergata

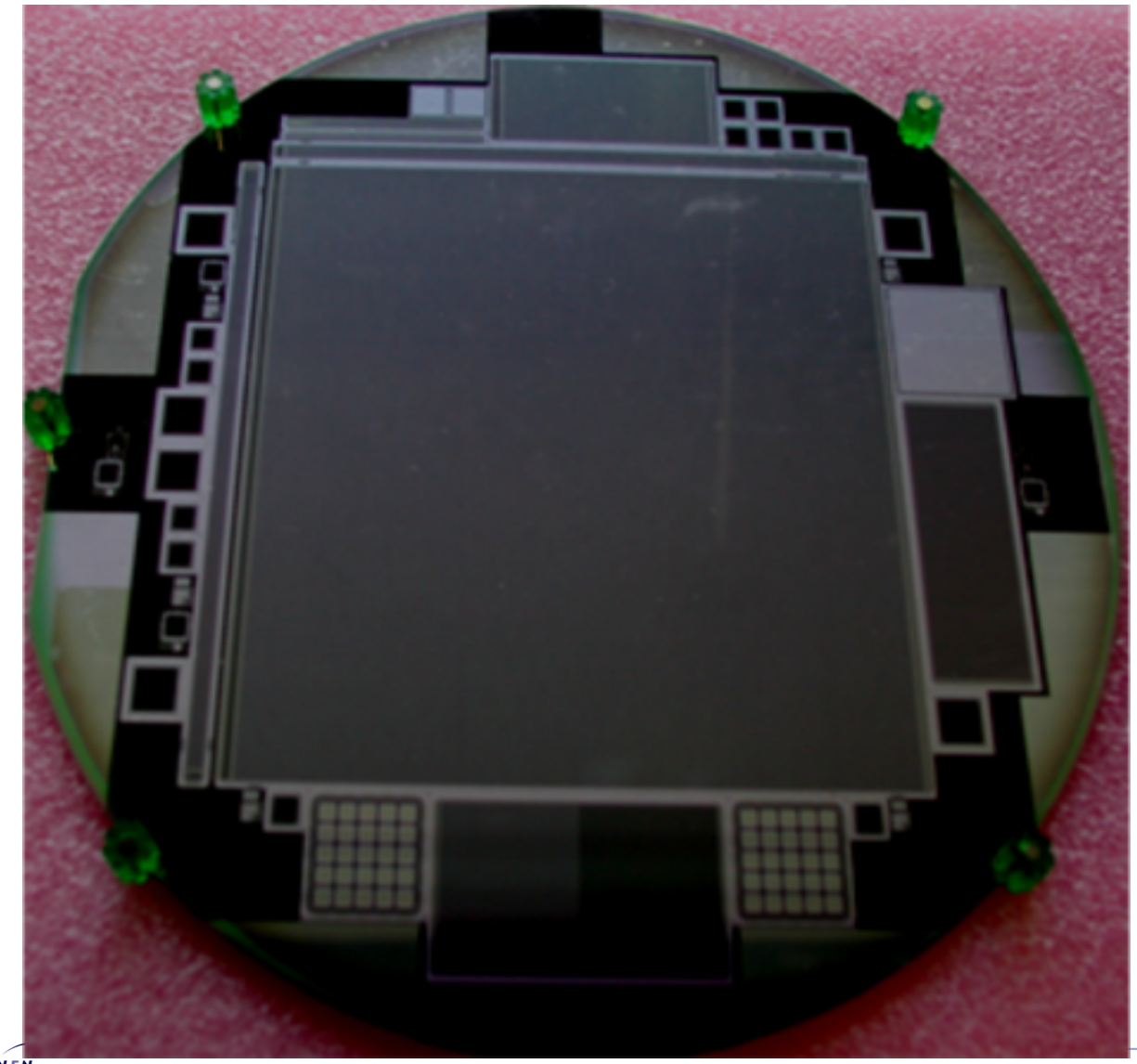


Test dei piani di silicio presso l' INFN di Roma Tor Vergata

# Integrazione finale di GLAST a SLAC (Università di Stanford )



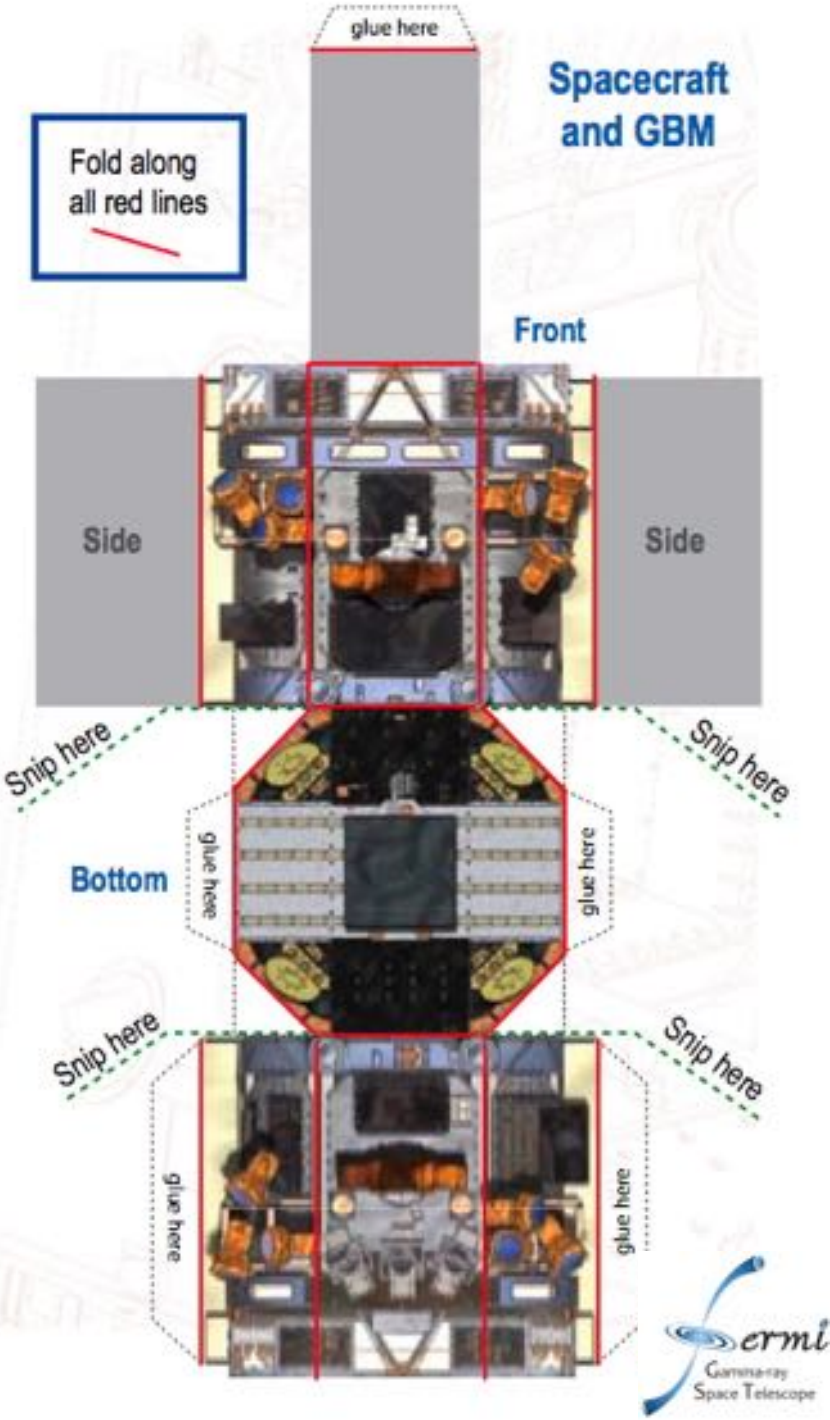
# I numeri del tracciatore del telescopio spaziale di raggi gamma Fermi



**11.500 rivelatori**
**~ 1M canali di elettronica**
**83 $m^2$ superficie di Silicio**
**> 240K functional test recorded in DB**
**~ 30M di test sulle**

# Fermi prima dell' installazione

# Fermi, Modello di carta




http://people.roma2.infn.it/~aldo/GLASTpaperModel.pdf

Fermi
all'interno del Delta 2

11 June 2008

11 June 2008

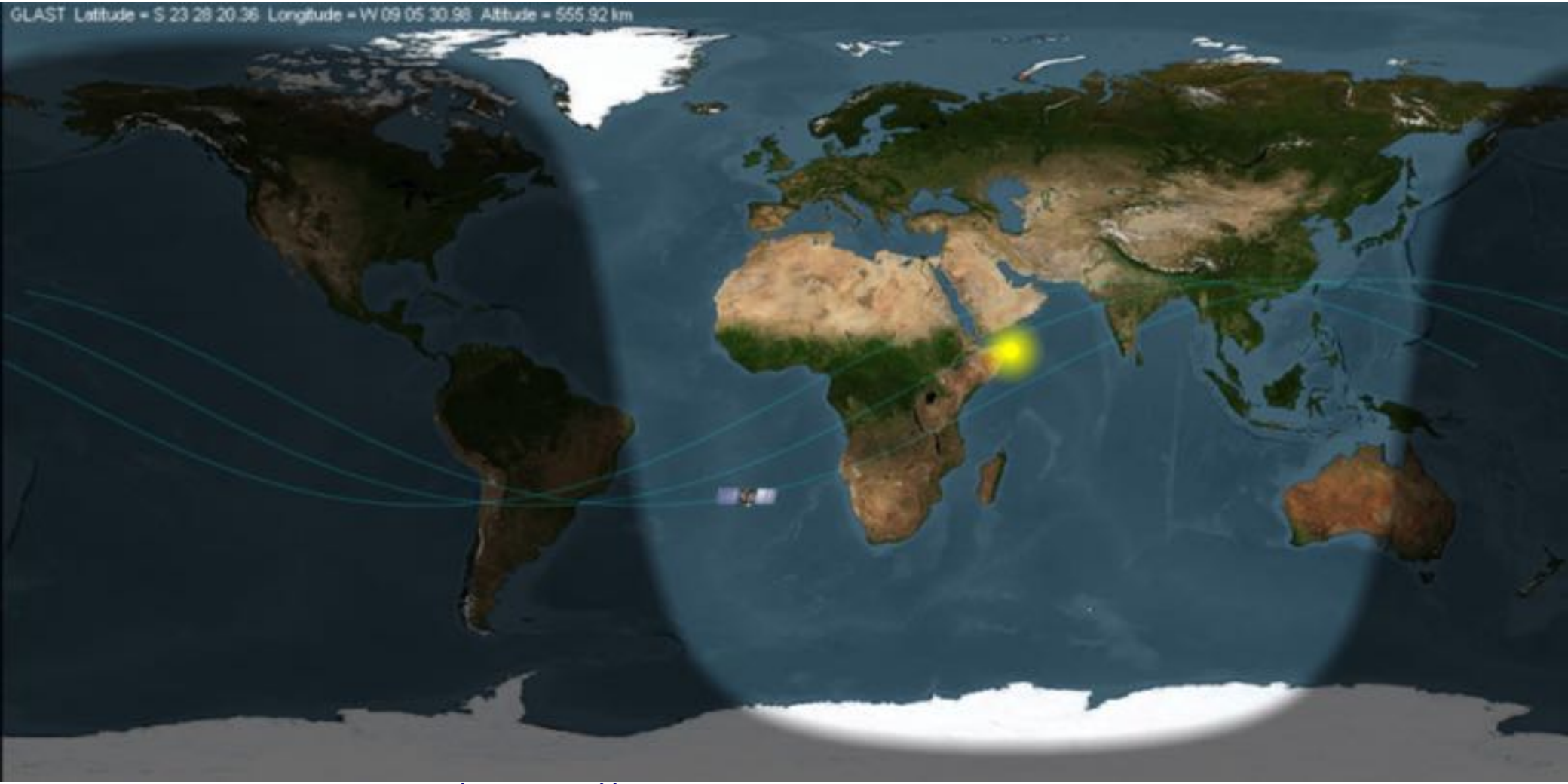
11 June 2008

11 June 2008

11 June 2008

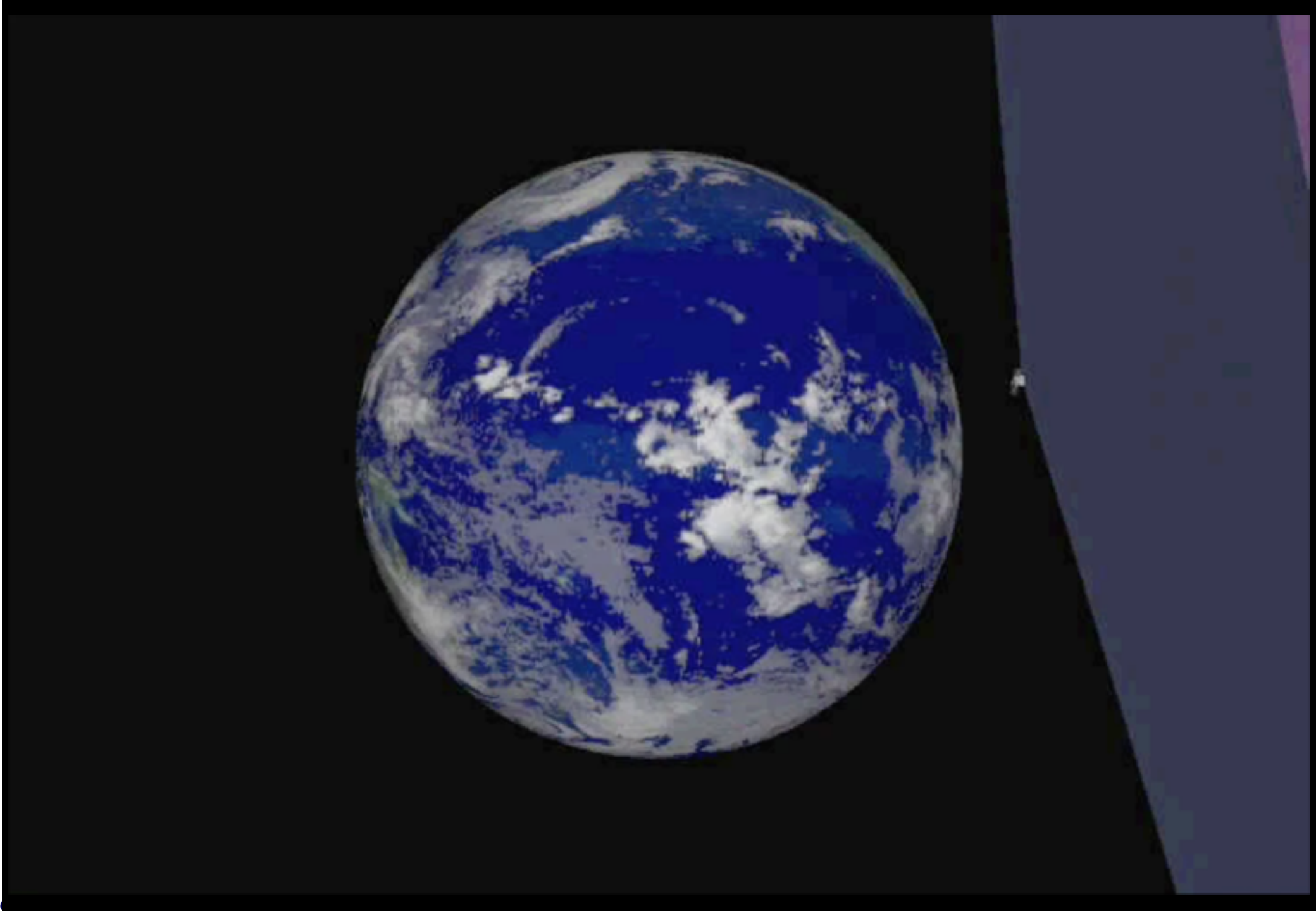
11 June 2008

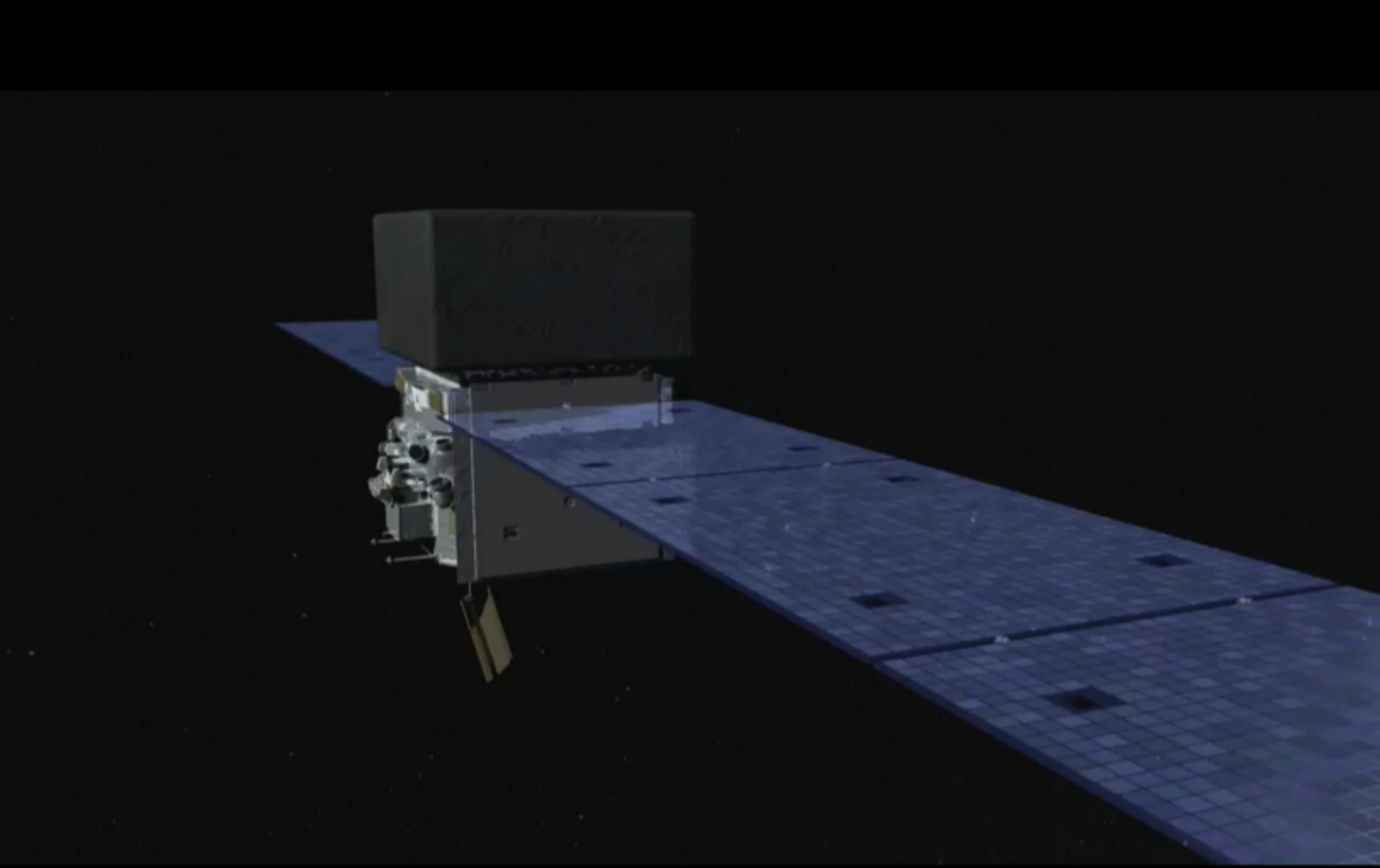
# Fermi in orbita



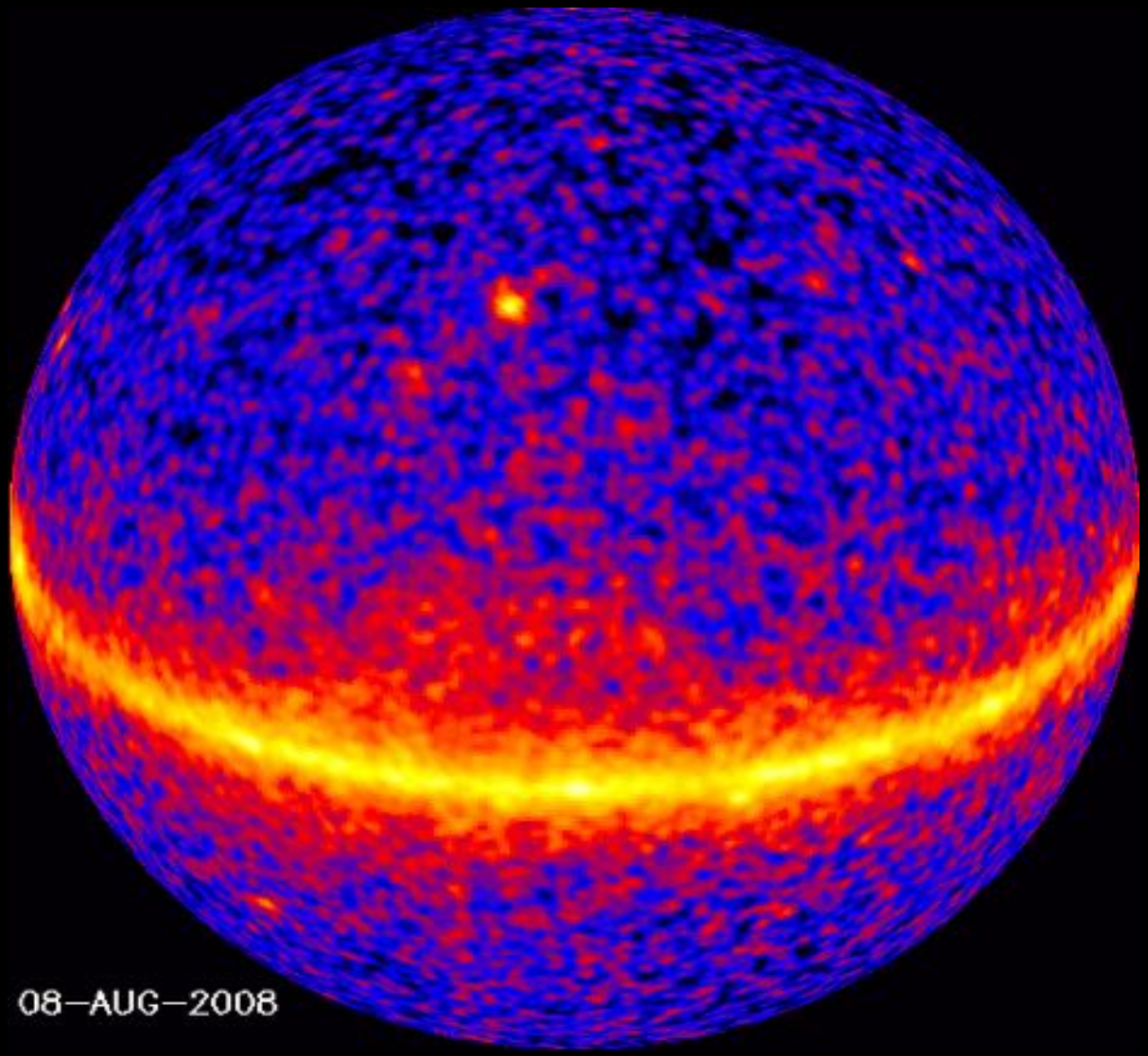

- Per rintracciare il satellite: http://observatory.tamu.edu:8080/Trakker
- Per vedere il satellite sopra la città :

http://www.nasa.gov/mission pages/GLAST/news/glast online.html

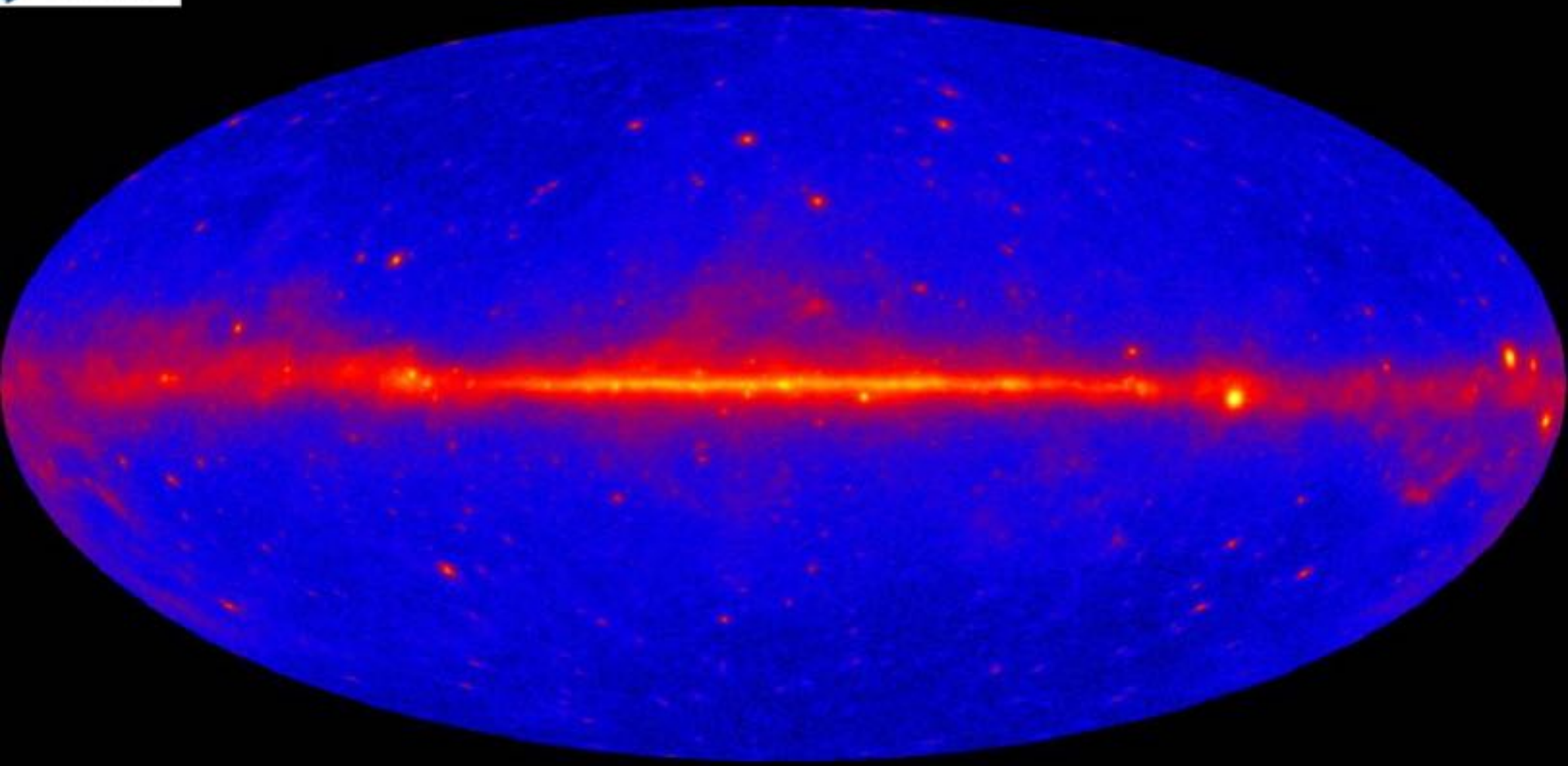




# Daily Gamma-ray Sky



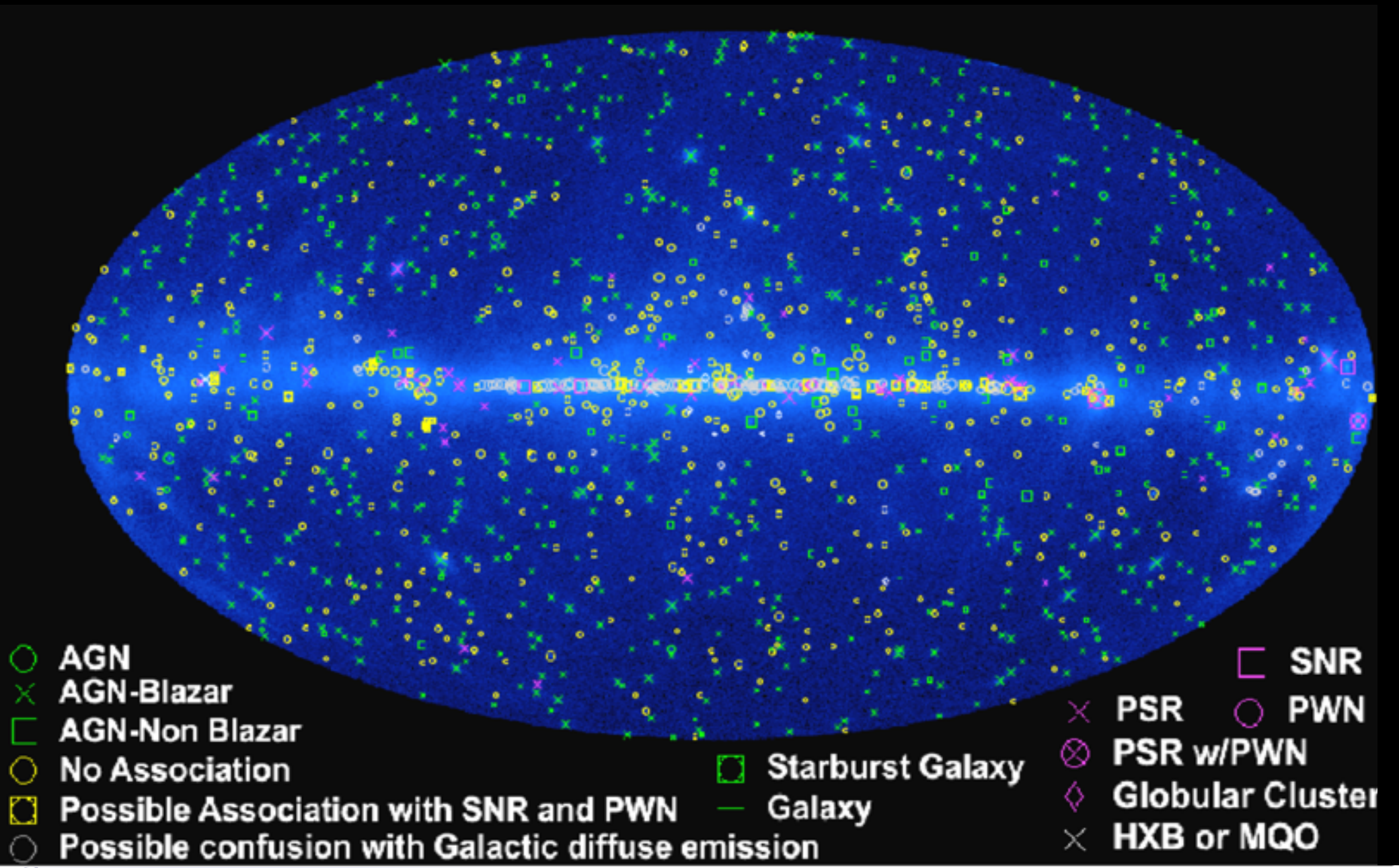
# Primo Catalogo delle sorgenti viste dal telescopio Fermi (11 mesi, 1451 sorgenti)



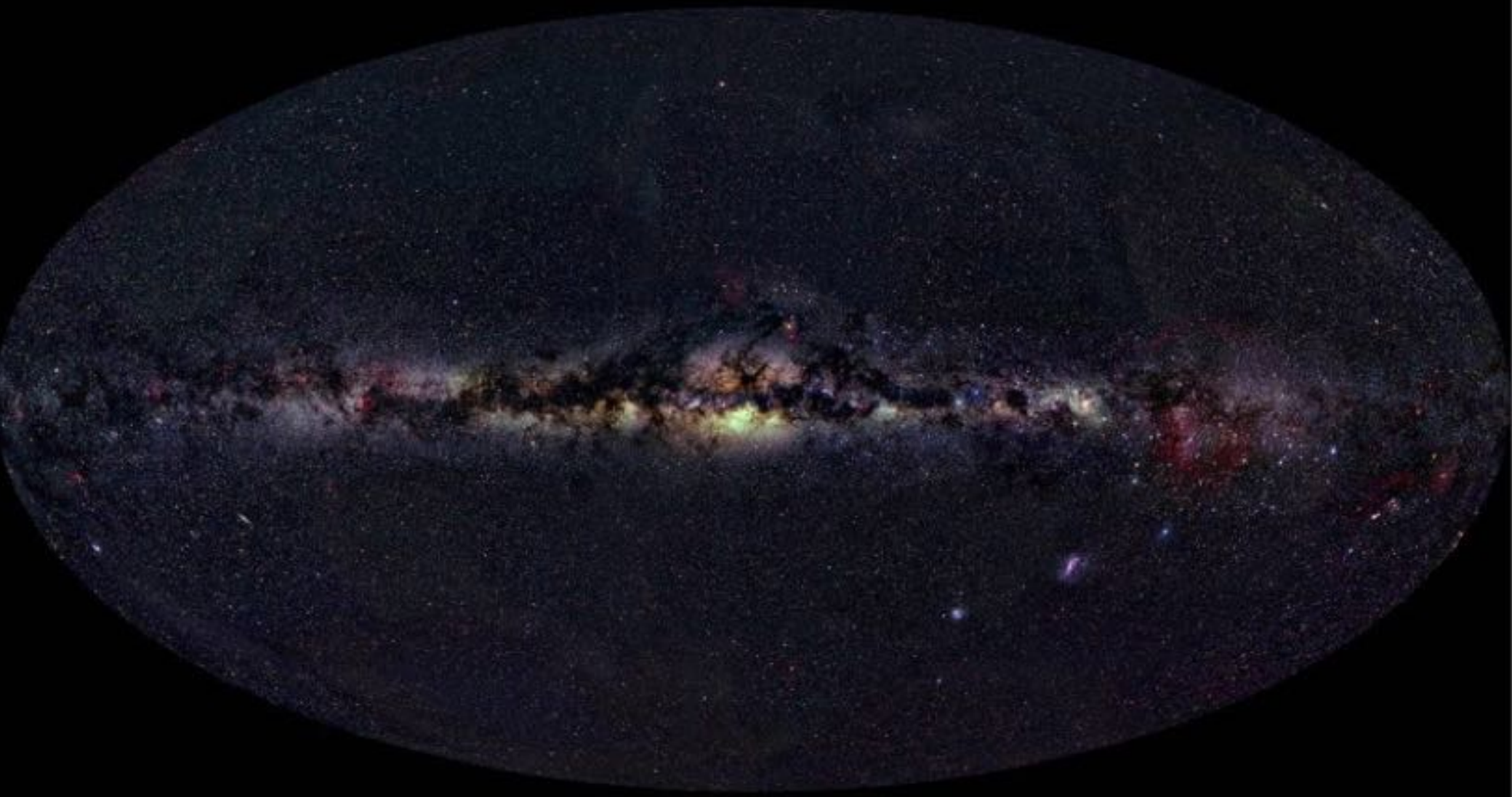
http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/1yr_catalog/

arXiv:1002.2280

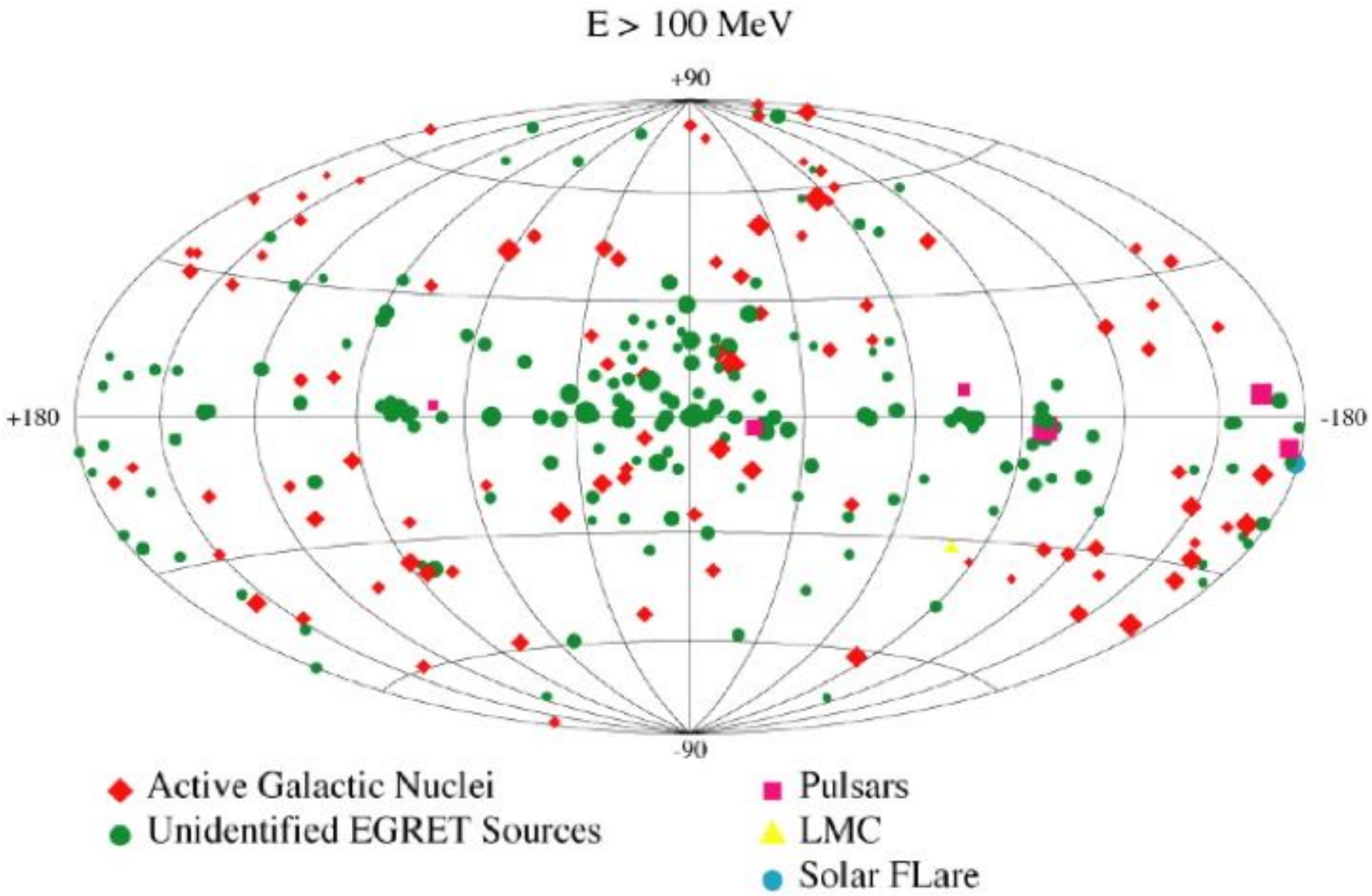
# Primo Catalogo delle sorgenti viste dal telescopio Fermi (11 mesi, 1451 sorgenti)



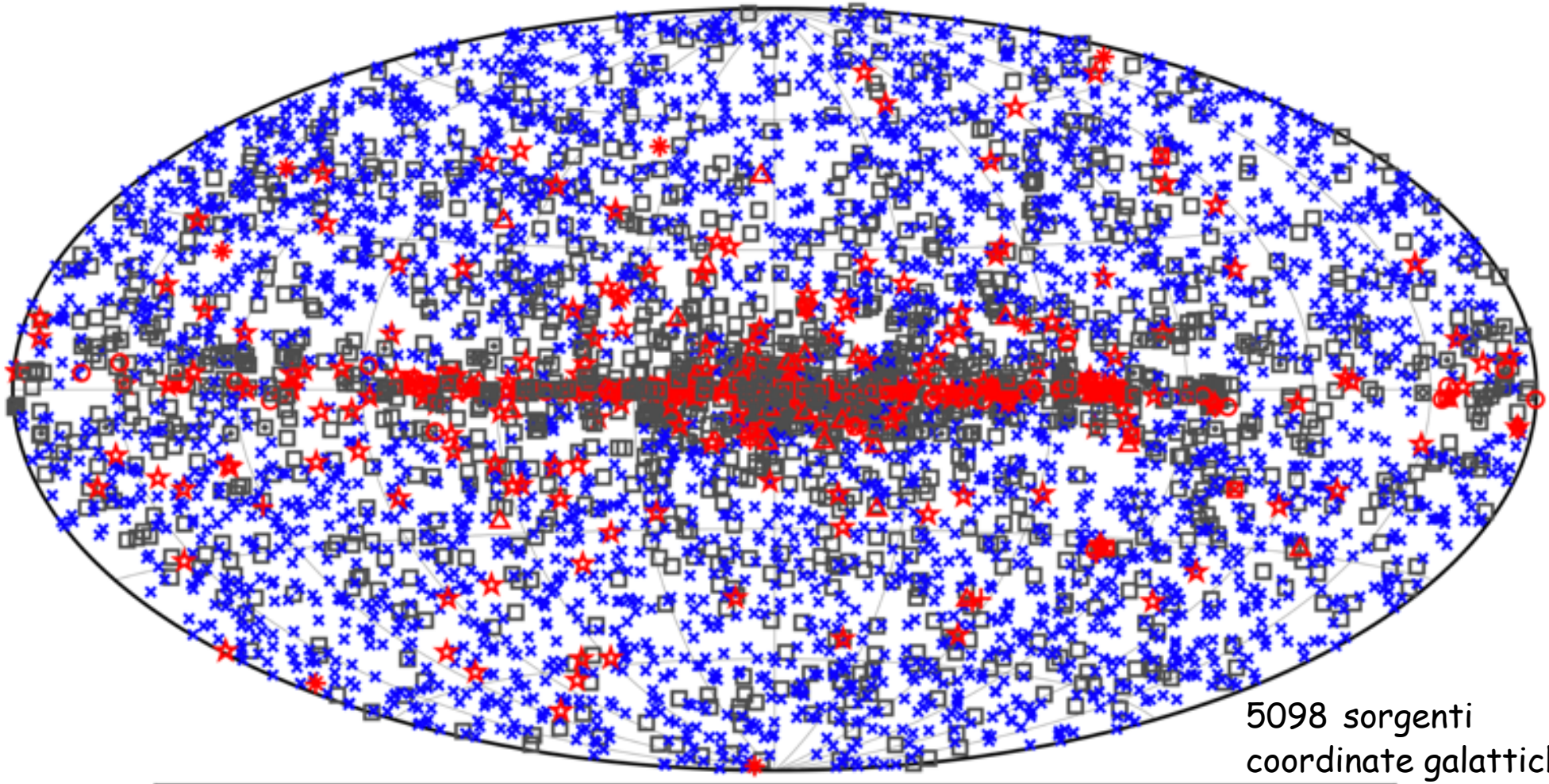
# Il cielo nell'ottico



# da confrontare con il precedente esperimento EGRET ( 298 sorgenti )



# Quarto Catalogo delle sorgenti viste dal telescopio Fermi

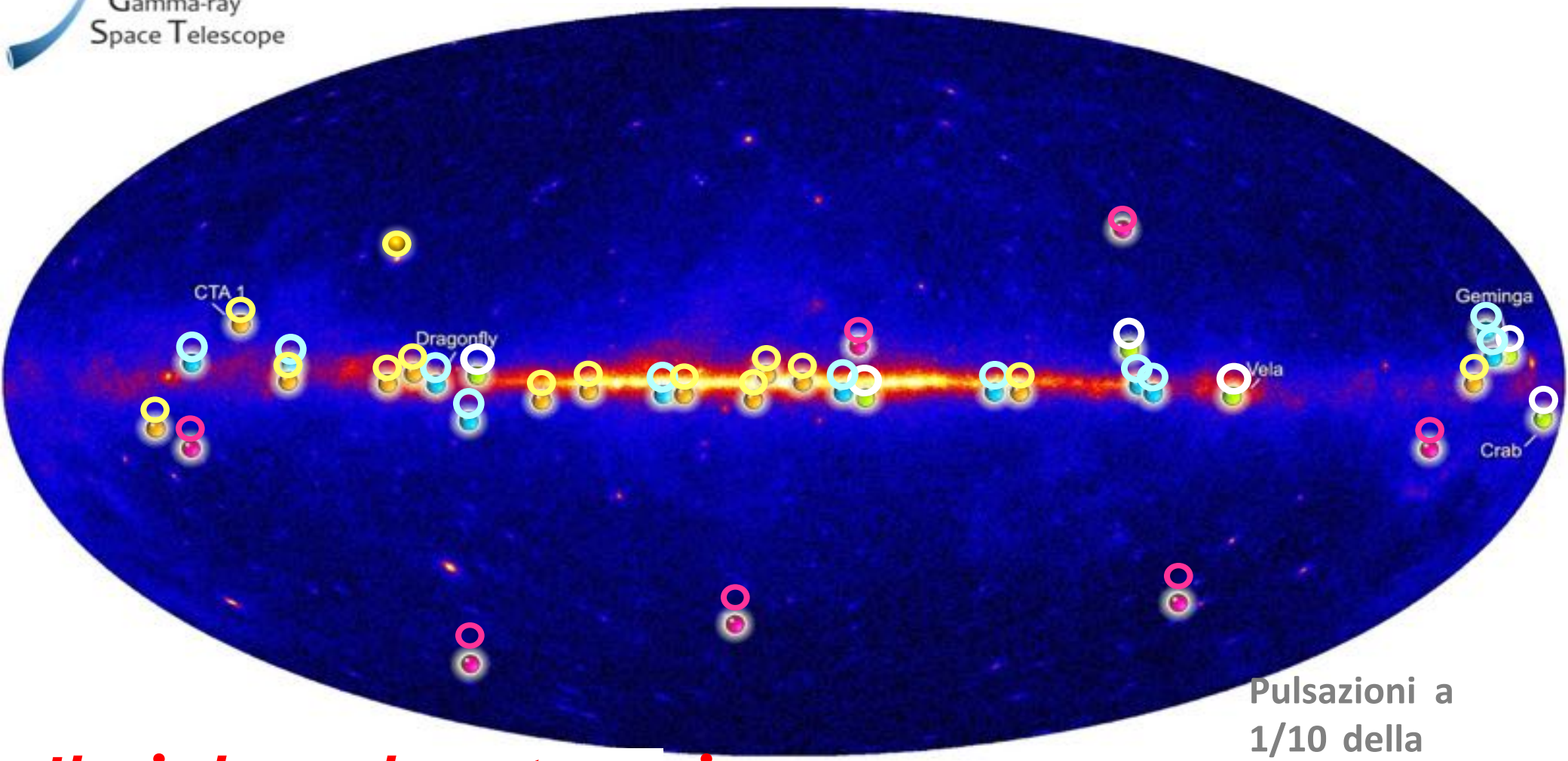



5098 sorgenti
coordinate galattiche

M.Ackermann et al. [Fermi Coll.] 4FGL: Fermi-LAT Fourth Source arXiv:1902.10045

Science 325 (5942), 840-844
Science 325 (5942), 848-852

Fermi
Gamma-ray
Space Telescope




# *Il cielo pulsante nei raggi gamma*

**Pulsazioni a 1/10 della frequenza reale**

Fermi
Gamma-ray
Space Telescope
Happy 11th Birthday Fermi !!
11 June 2008

Pisa 15 March 2018

# GW170817

## Fermi

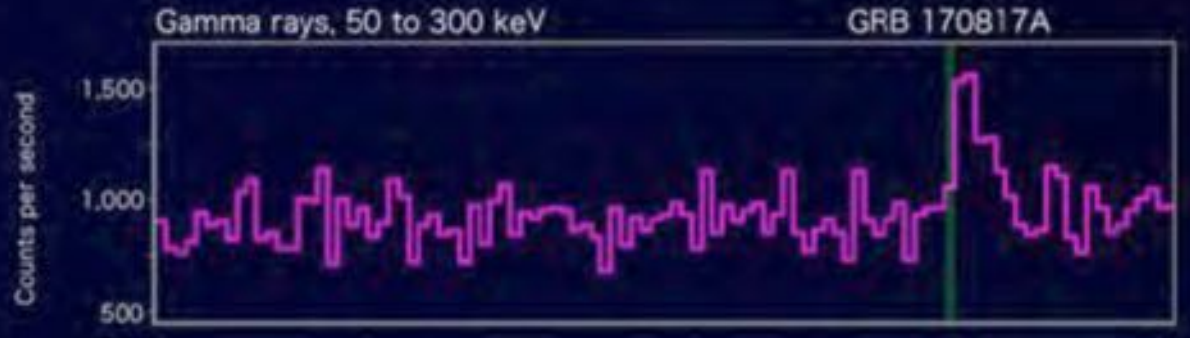
Reported 16 seconds after detection

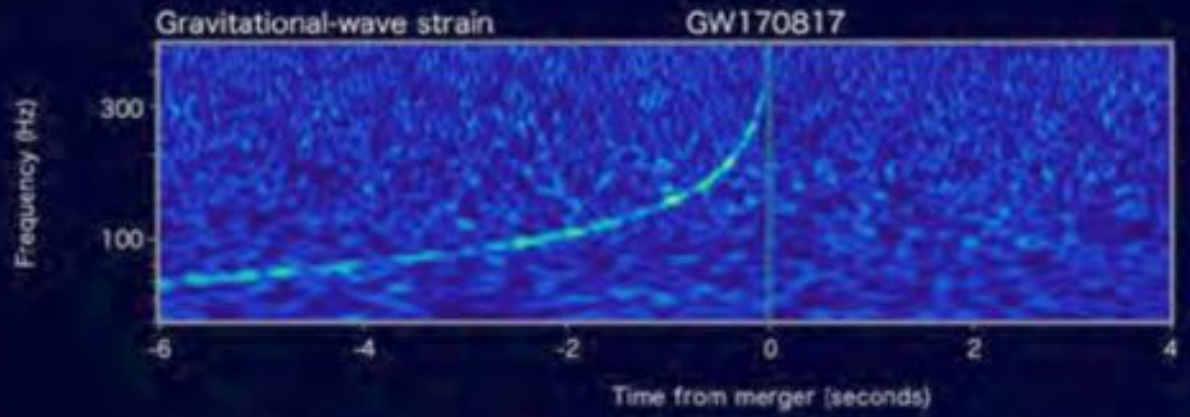
## LIGO-Virgo

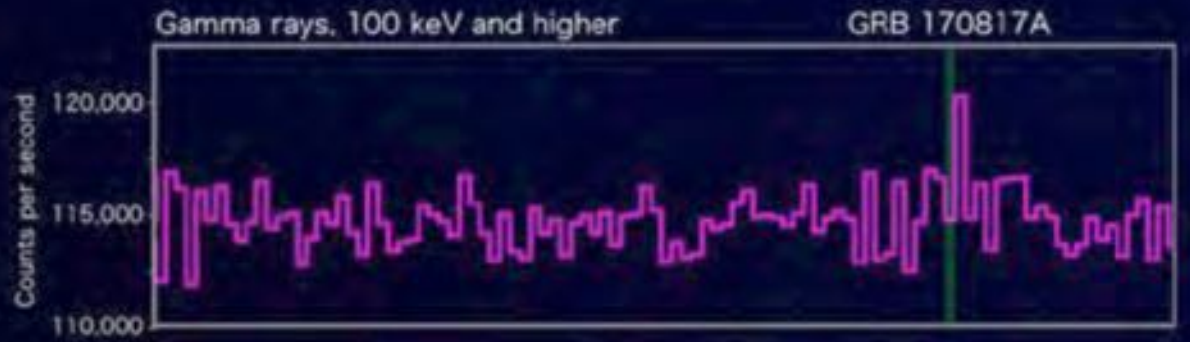
Reported 27 minutes after detection

## INTEGRAL

Reported 66 minutes after detection

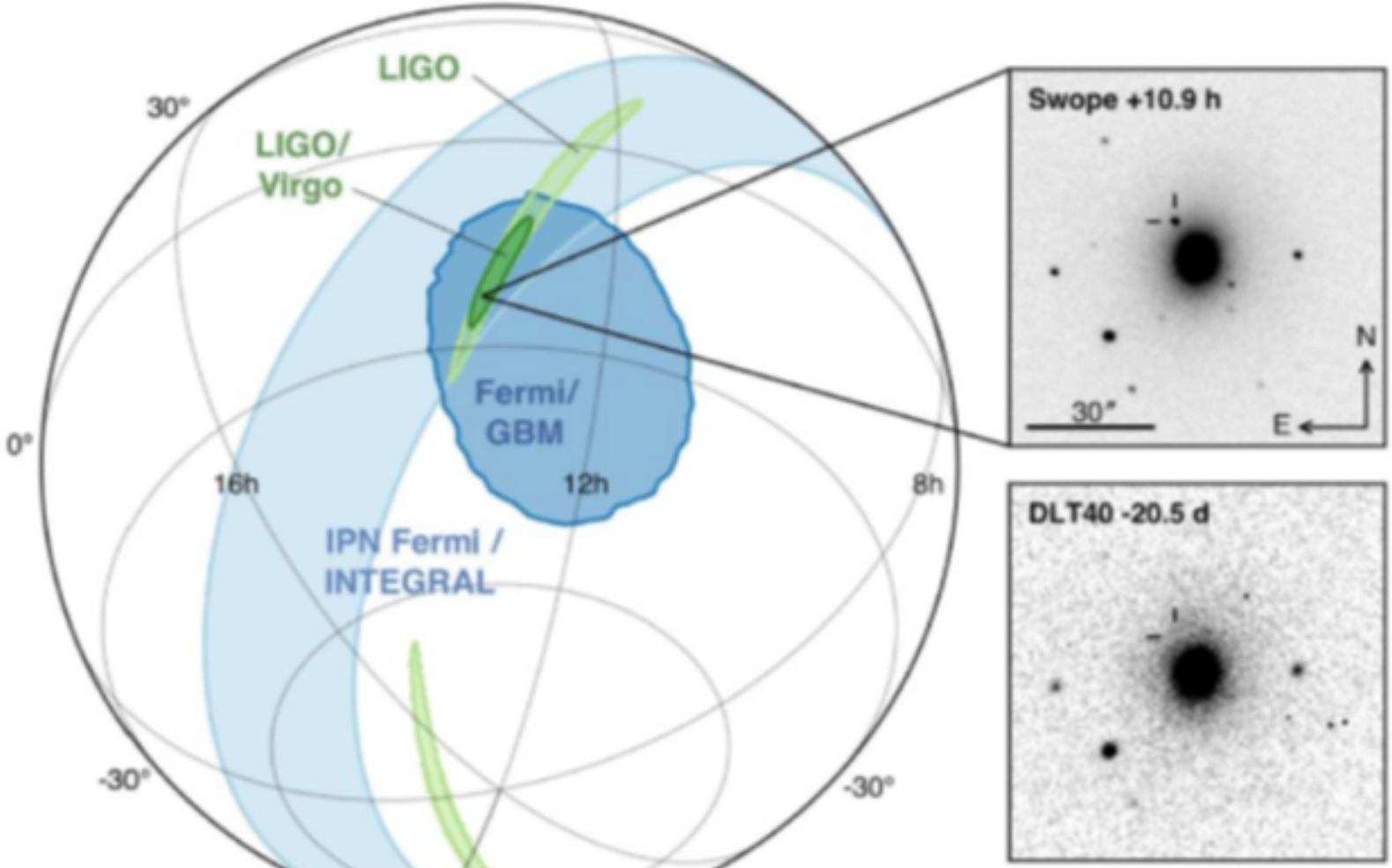



Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger ApjL 848 L12 2017 [arXiv:1710.05833] 3656 authors !

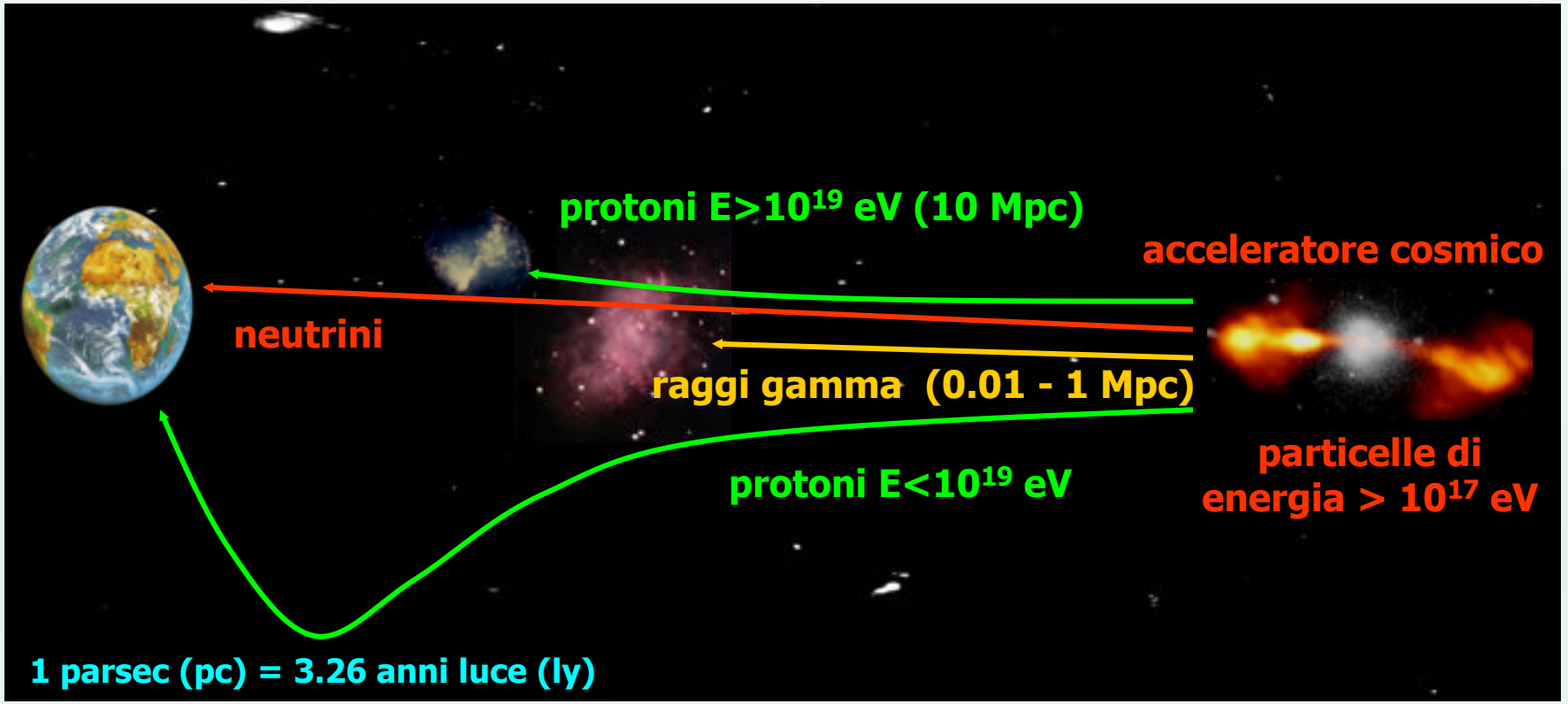
# GBM e Onde Gravitazionali: 17 08 2017



# 17 agosto 2017: coalescenza fra due Stelle di neutroni

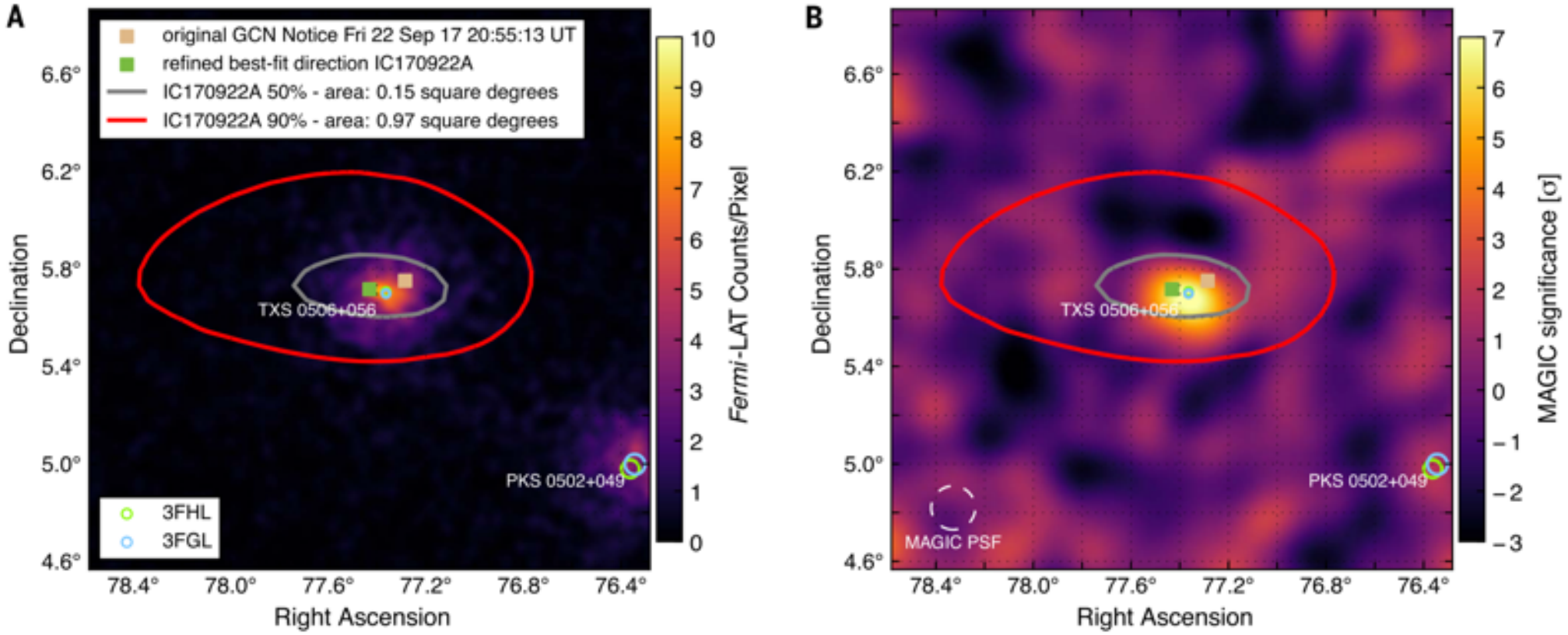
# Diverse particelle, diversi orizzonti ...

- p e γ assorbiti o deviati dalla materia e dalla radiazione interstellare
- i neutrini (ν):
  - essendo privi di carica non sono deflessi dai campi magnetici
  - interagiscono debolmente quindi possono attraversare grandi distanze permettendo di osservare l'Universo lontano



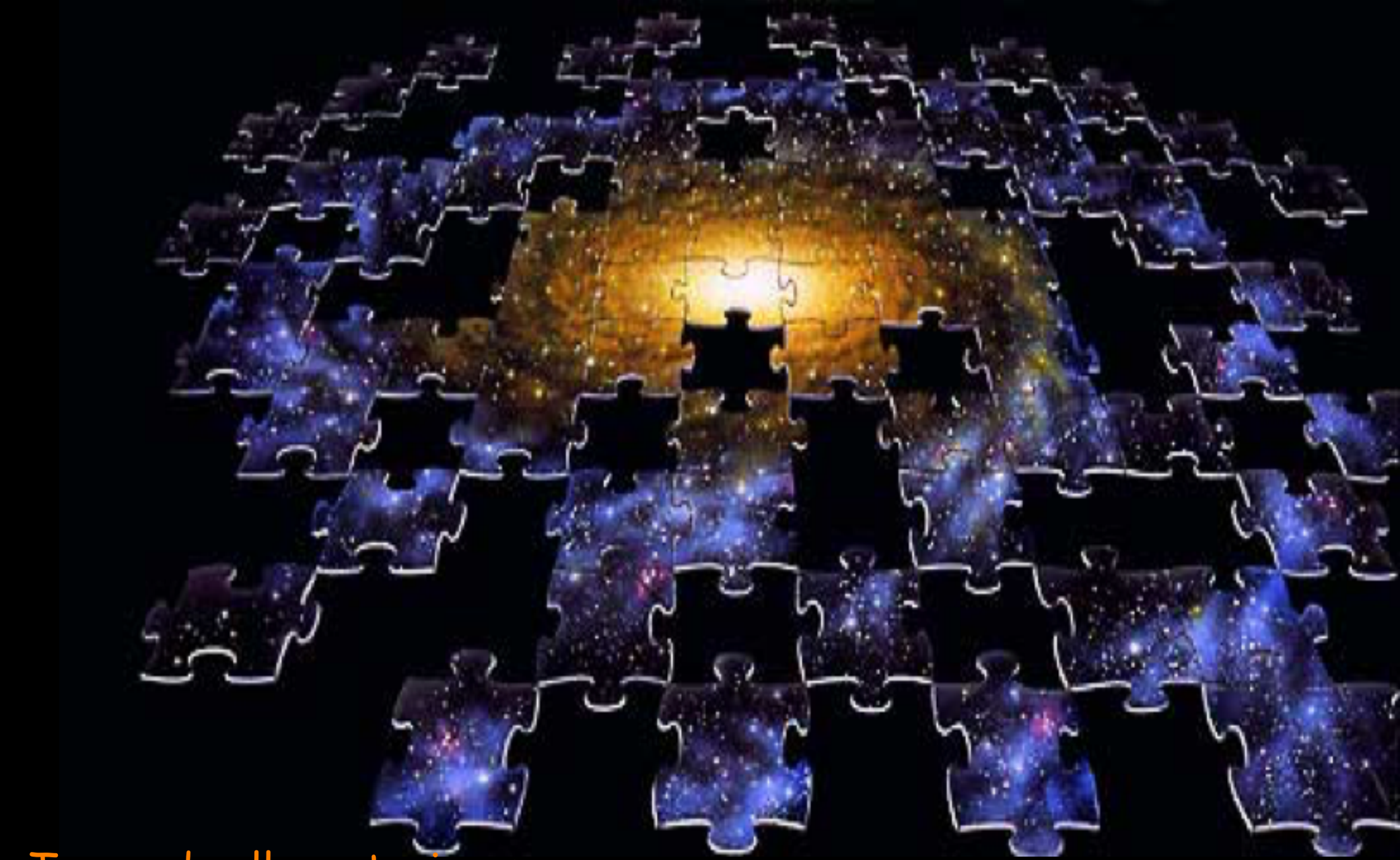
# Astronomia multimessaggero: neutrini

- I buchi neri delle galassie attive sono le sorgenti dei neutrini e quindi dei raggi cosmici di altissima energia (UHECR) ?
- Il caso di EHE 170922 (TXS 0506 +056)




**Fermi-LAT and MAGIC observations of IceCube-170922A's location.**

Science 361, eaat1378 (2018) 12July



Tornando alla materia oscura

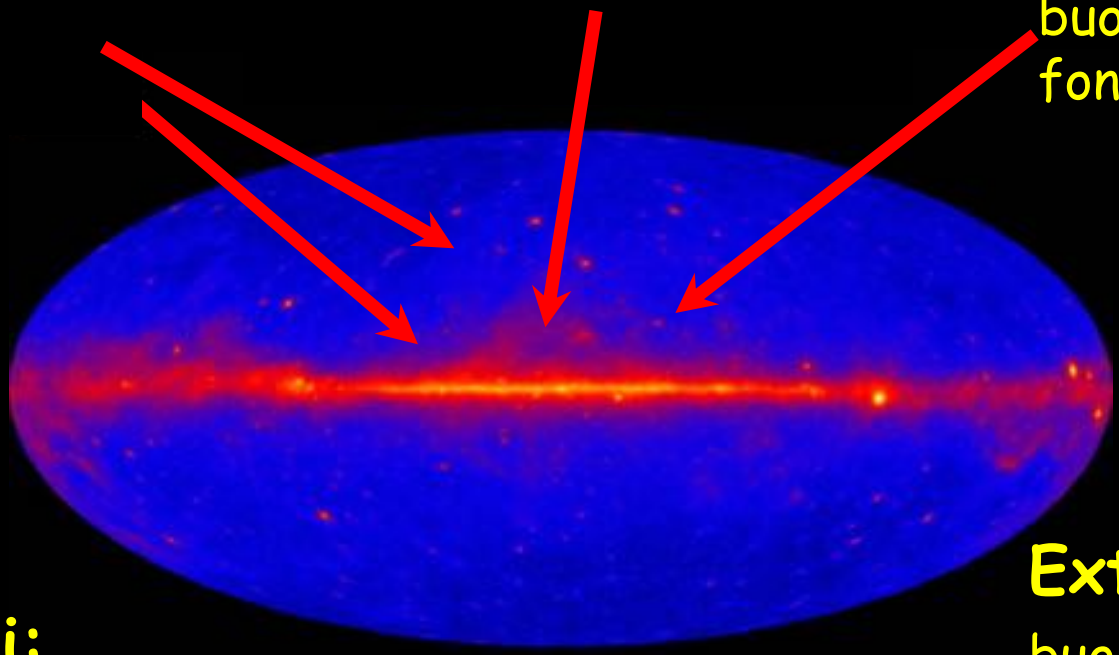
Distribuzione della materia oscura secondo le simulazioni
con il telescopio Fermi si spera di rivelare i gamma provenienti
dall'annichilazione di materia oscura nelle sotto-strutture

# .. ma anche in molti altri segnali

**Satelliti:**
basso fondo ma statistica bassa

**Galactic center:**
statistica buona ma fondo elevato

**Alone della Via Lattea:**
buona statistica ma fondo elevato



+ Spettro di elettroni e Anisotropie

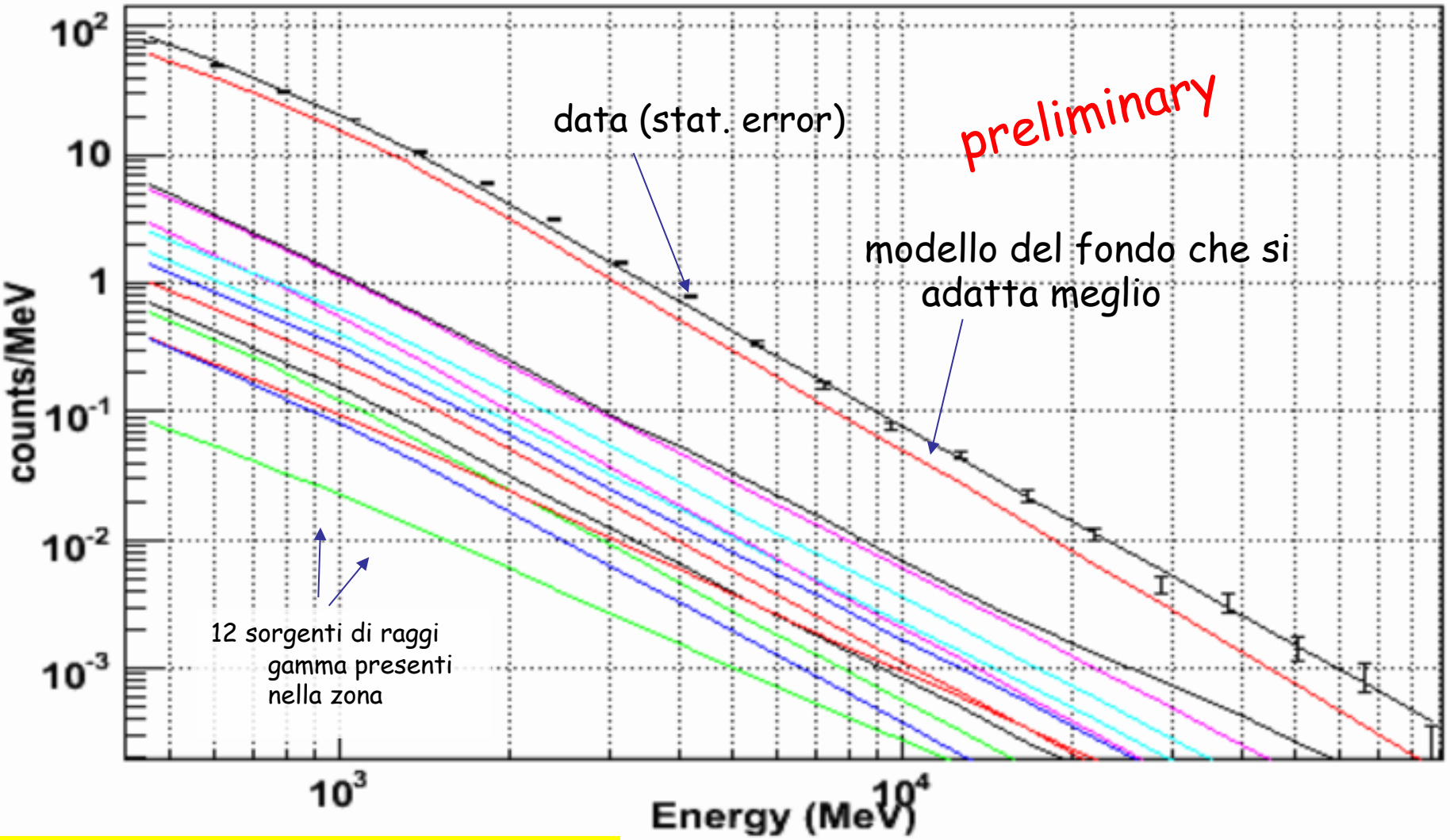
**Linee spettrali:**
nessuna incertezza astrofisica ma statistica bassa

**cluster di galassie:**
basso fondo ma statistica bassa

**Extra-galattico:**
buona statistica ma fondo elevato a causa di sorgenti astrofisiche e del fondo galattico diffuso

# Spettro Energetico dei fotoni dal centro galattico

(regione di 7° x7° centrata nel Centro Galattico,
11 mesi di dati, E> 400 MeV )

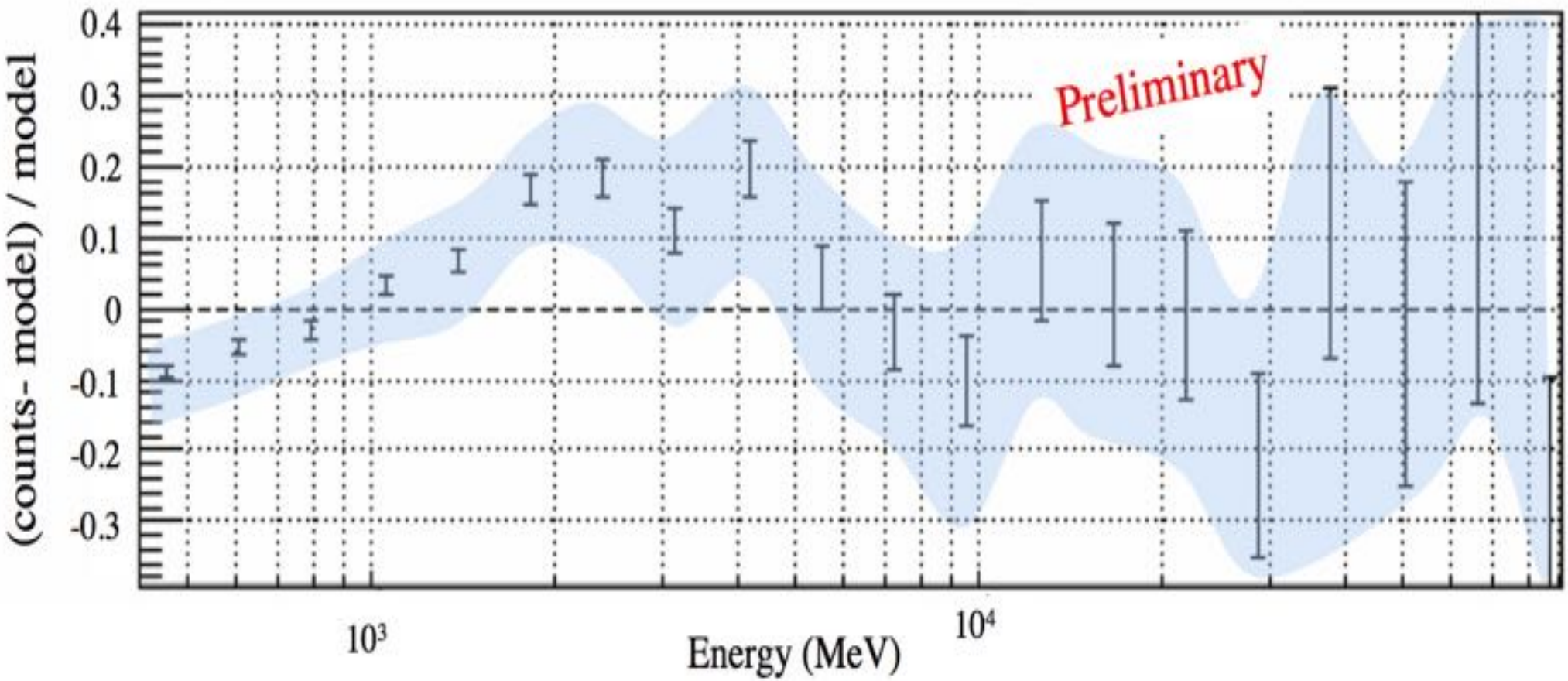



Fermi LAT Coll. Fermi Symp. arXiv:0912.3828

# Residui dei fotoni dal centro galattico
# ( dati - modello)

regione di 7° x7° centrata nel Centro Galattico, 11 mesi di dati, E> 400 MeV )

- Incertezza sistematica ~10% at 100 MeV e 20% at 10 GeV




Fermi LAT Coll. , Fermi Symp. arXiv:0912.3828

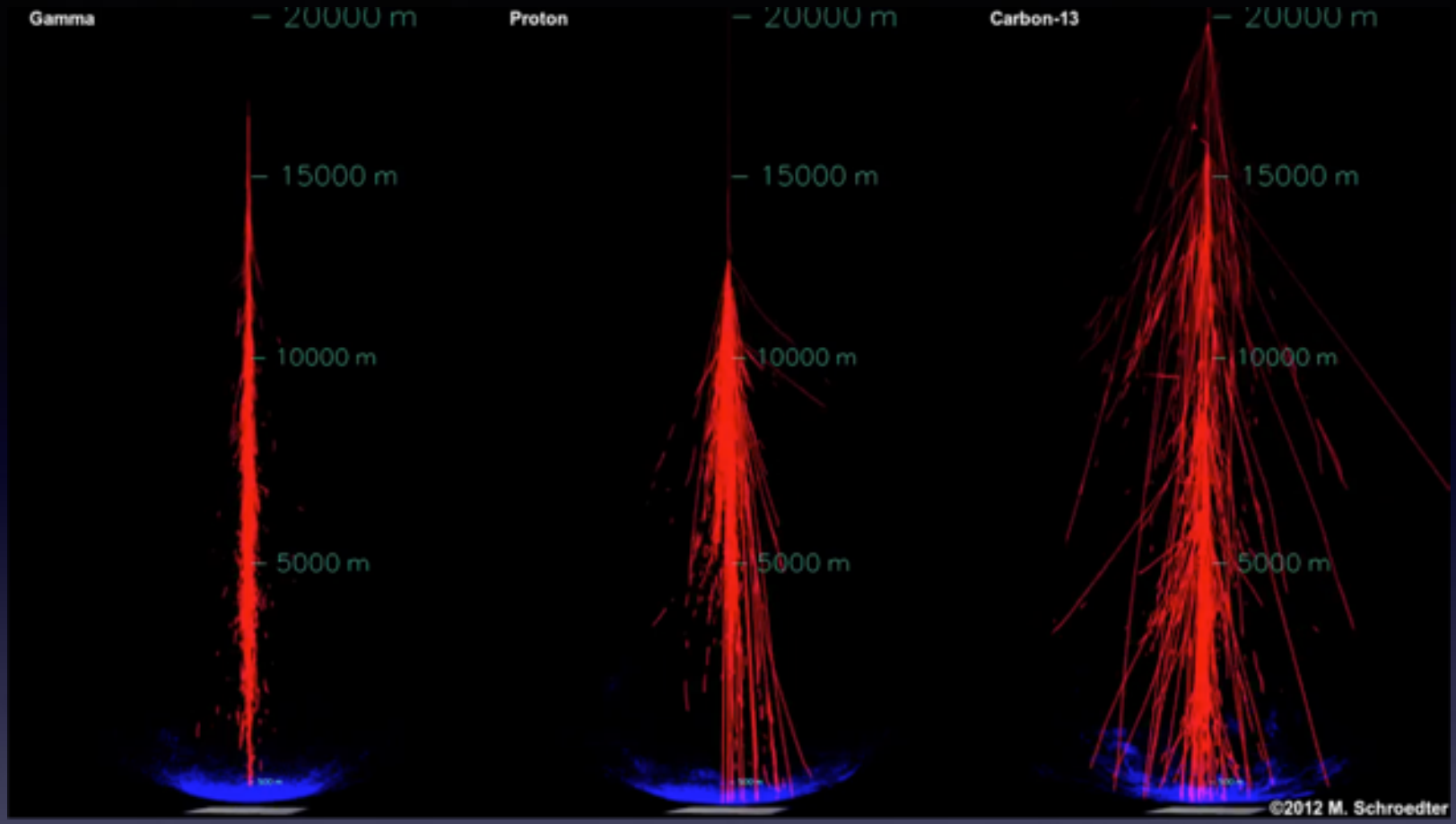
potrebbe essere un segnale dalla materia oscura ?

forse.

bisognerà escludere tutte le altre ipotesi,
rendere più precisi i modelli,
c'e' ancora molto lavoro da fare
ma e' un bel lavoro!

E a energia piu' alta?

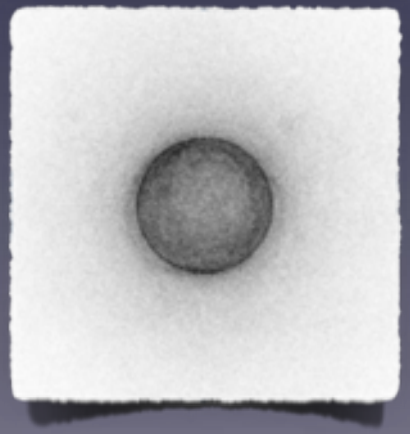
COSA SUCCEDE QUANDO UN FOTONE
O UNA PARTICELLA DI ALTA ENERGIA
COLPISCONO L'ATMOSFERA?

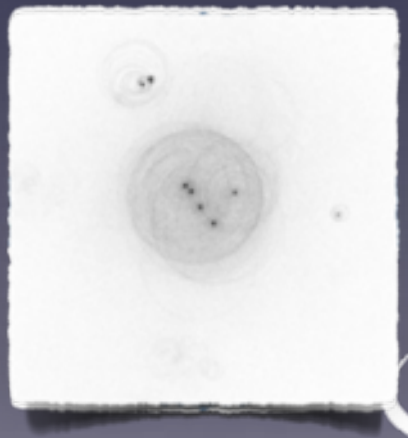



*Intensità dell'immagine*
*↳ energia*

*orientamento*
*↳ direzione*

*Forma dell'immagine*
*↳tipo di particella*

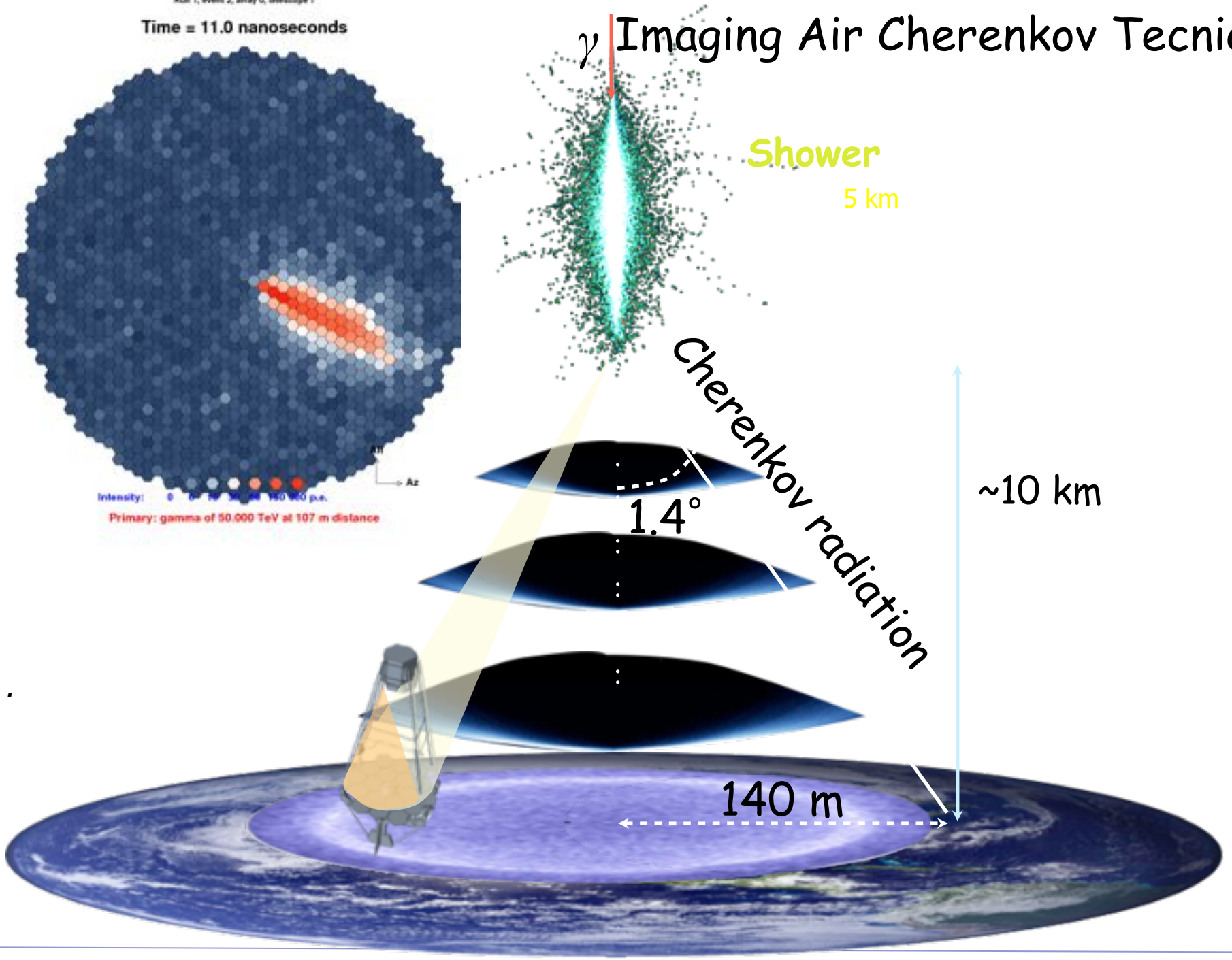




cta
cherenkov telescope array

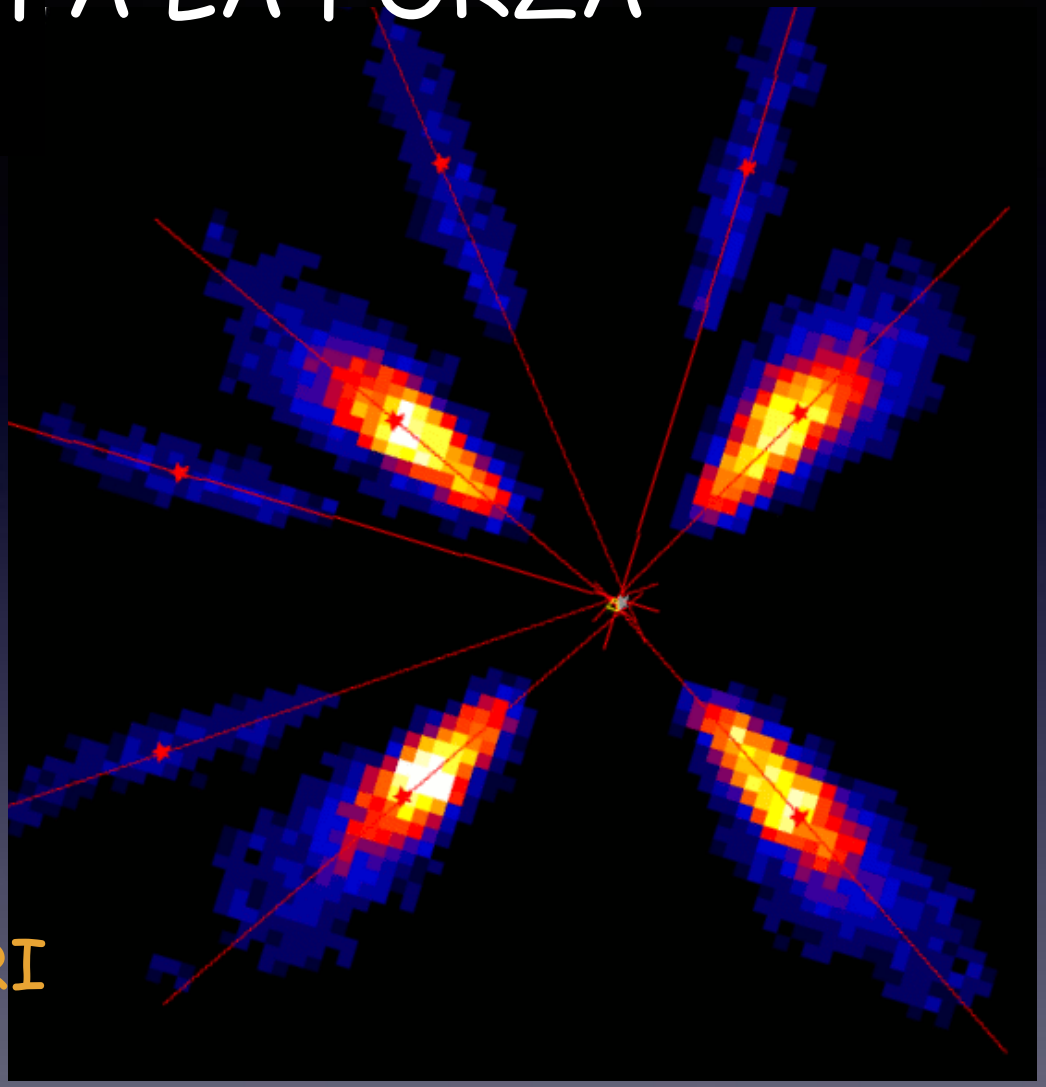
# $\gamma$ Imaging Air Cherenkov Tecnique



# L'UNIONE FA LA FORZA

INCROCIANDO LE INFORMAZIONI PRODOTTE DA DIVERSI TELESCOPI SI OTTENGONO RISULTATI MIGLIORI



**Simulation:**
Superimposed images from 8 cameras

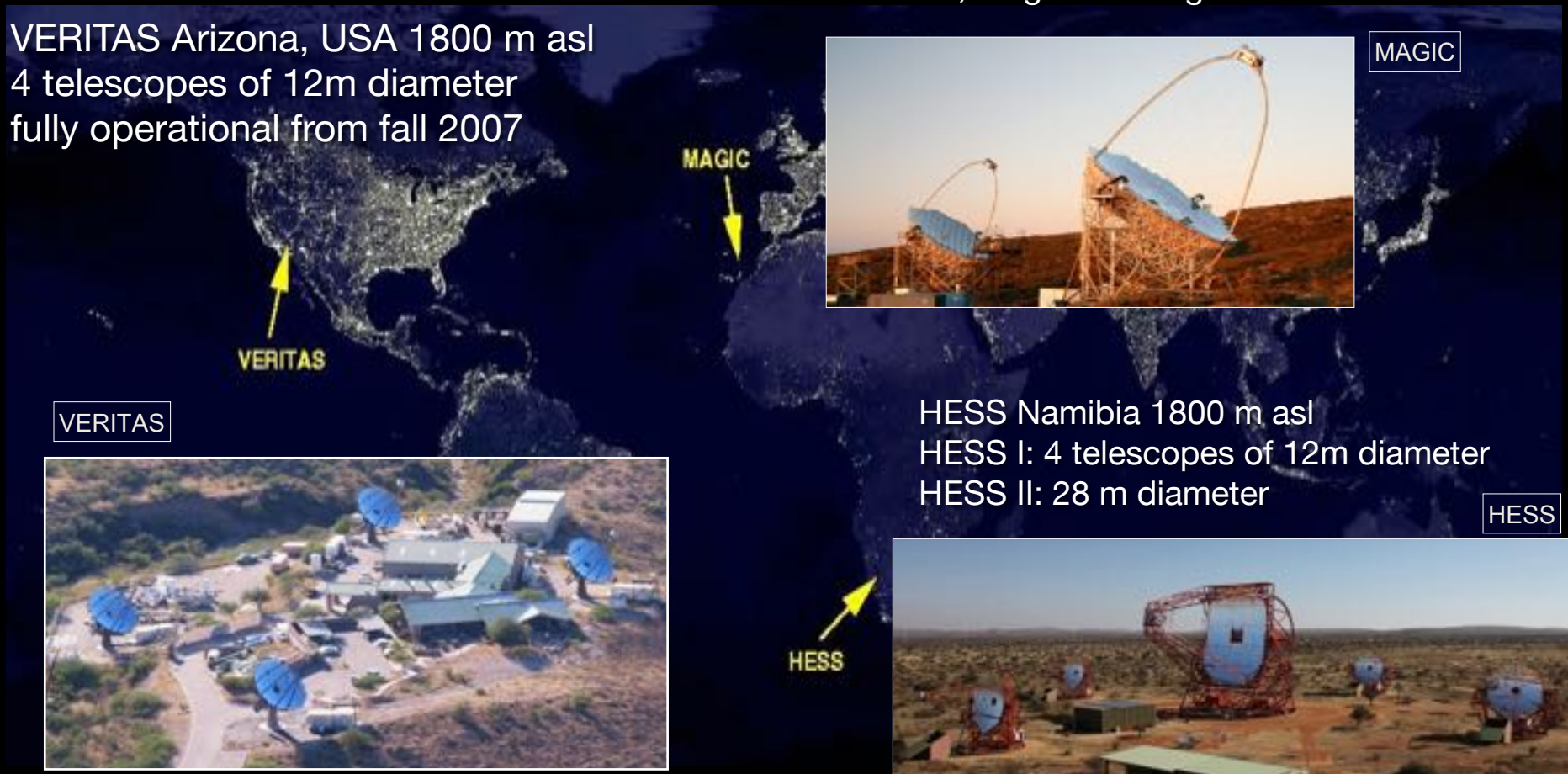
cta
cherenkov telescope array

Una schiera di telescopi Cherenkov
COME ?
γ di bassa energia debole
sono tanti ma producono segnale
➜ ci vogliono telescopi molto grandi
γ di alta energia forte
sono pochi ma producono segnale
➜ specchi piccoli sparsi
su grande area
Pochi telescopi grandi per le basse energie
~km² schiera di telescopi medi
4 LSTs
7 km² schiera di piccoli telescopi
~70 SSTs
~25 MSTs plus
~24 SCTs extension

# Osservatori gamma operativi al suolo

MAGIC Canary Islands 2200 m asl
2 x 17m telescopes. Magic I in operation since Oct 2003, Magic II first light shown at ICRC09

VERITAS Arizona, USA 1800 m asl
4 telescopes of 12m diameter
fully operational from fall 2007




MAGIC



VERITAS

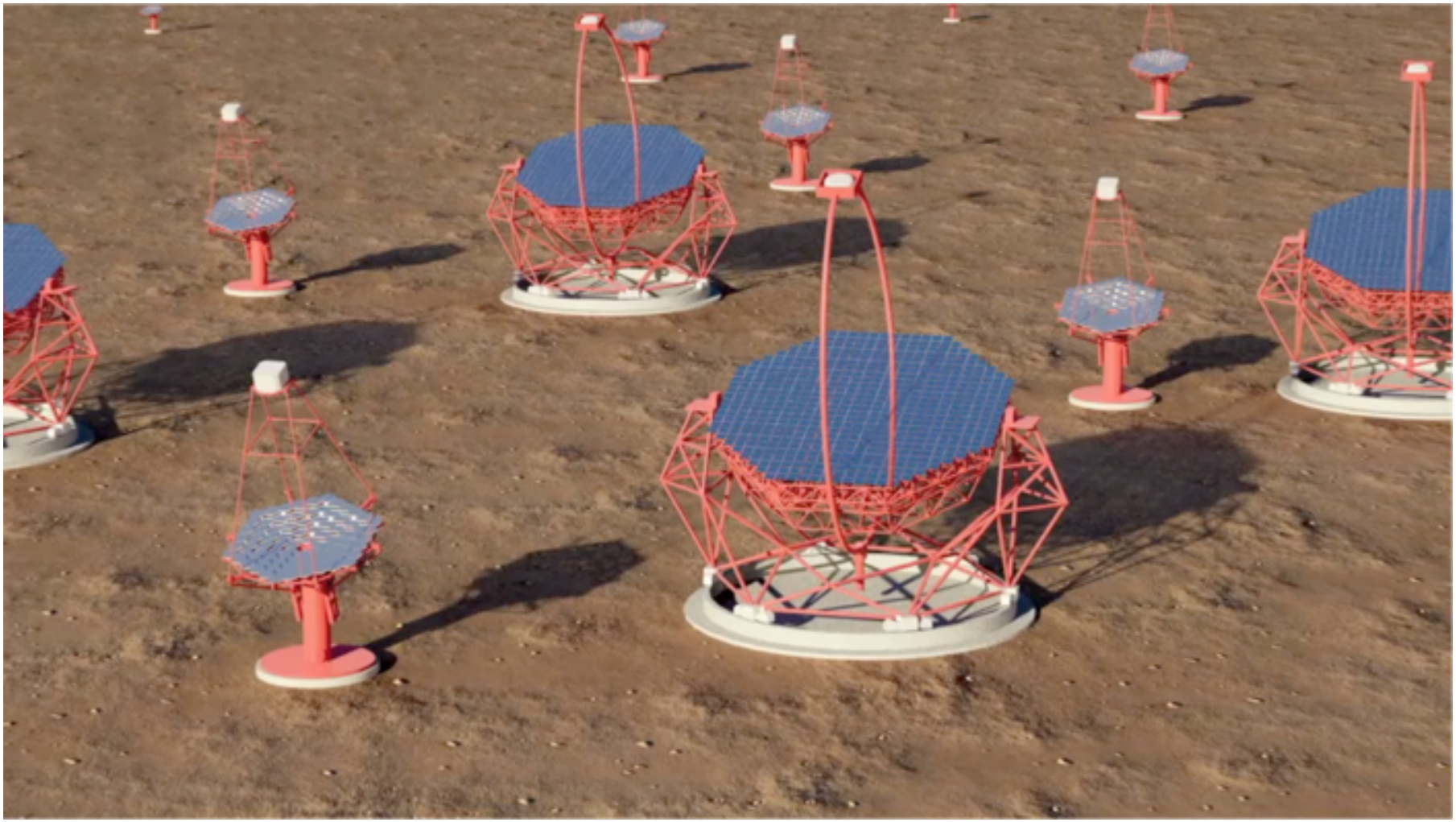


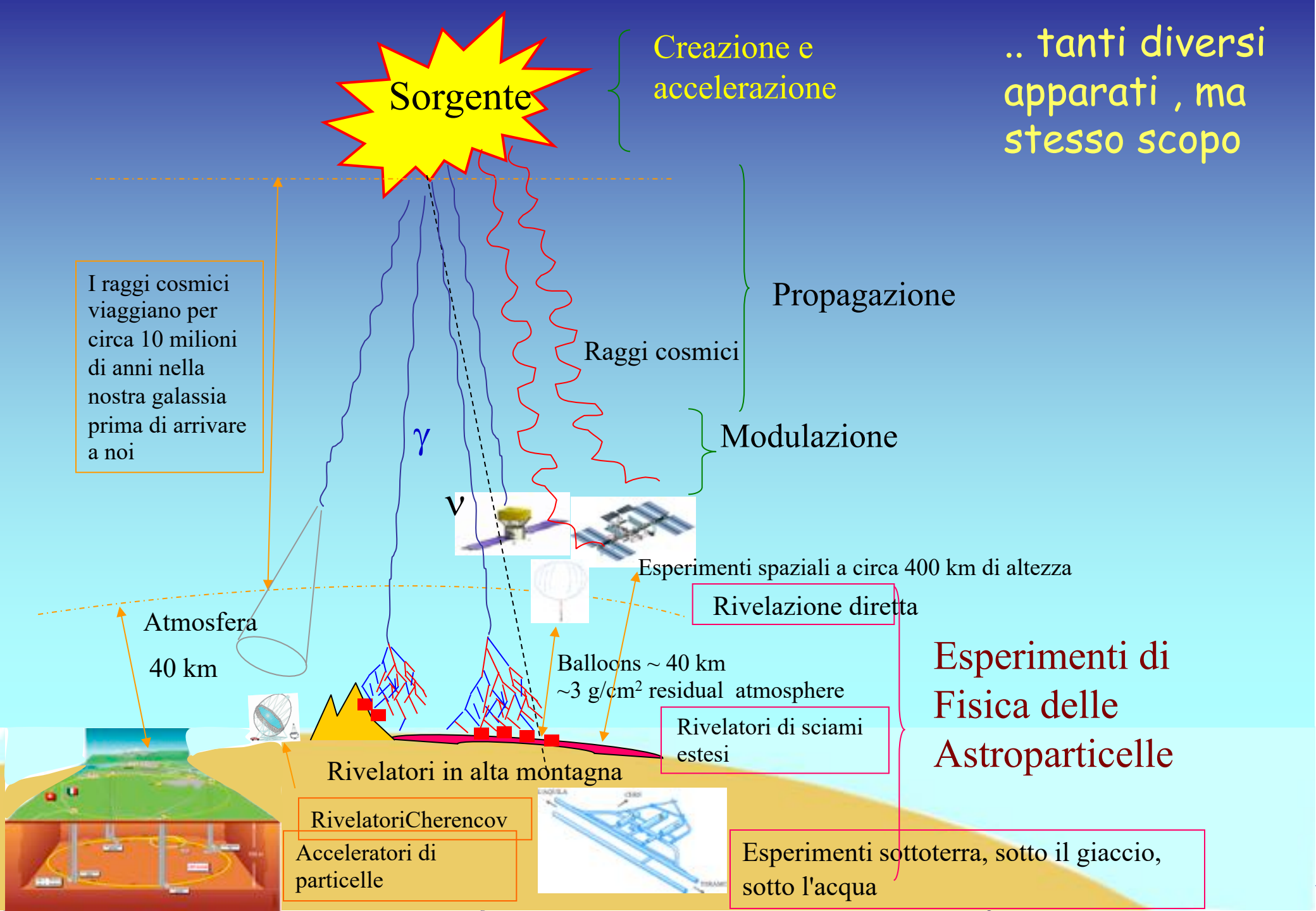
HESS Namibia 1800 m asl
HESS I: 4 telescopes of 12m diameter
HESS II: 28 m diameter

HESS

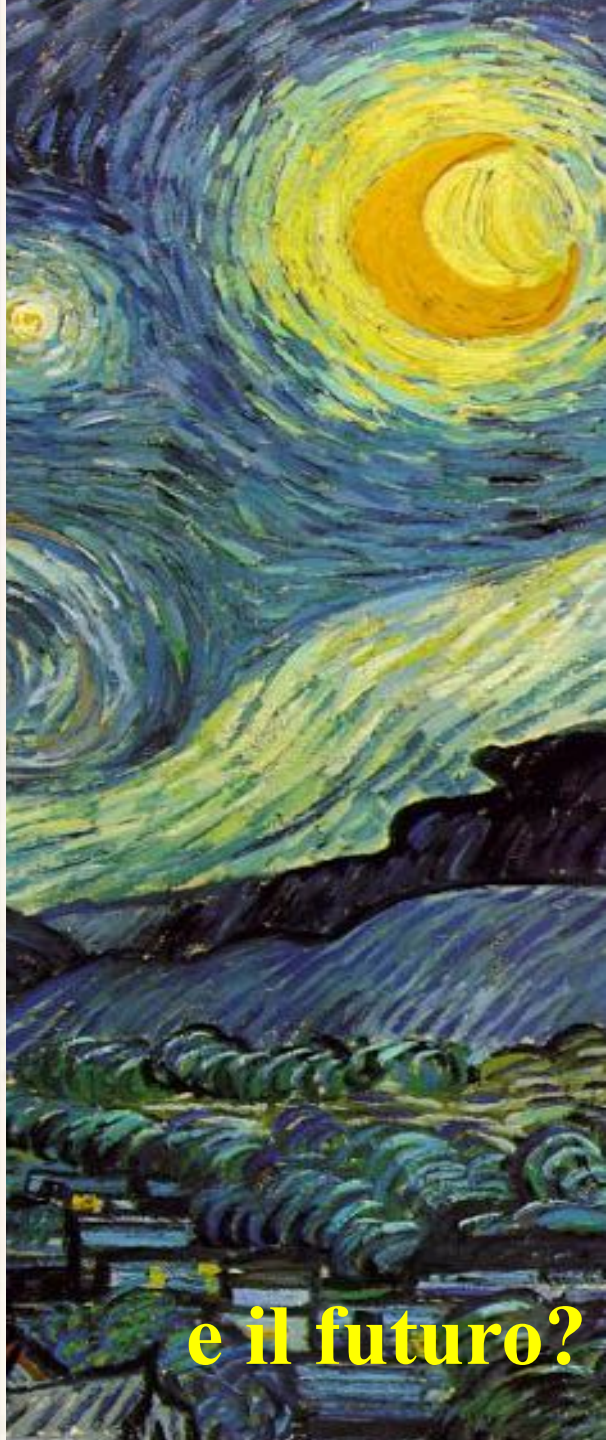
# Dove?

# Rendering della schiera di telescopi nel sito sud



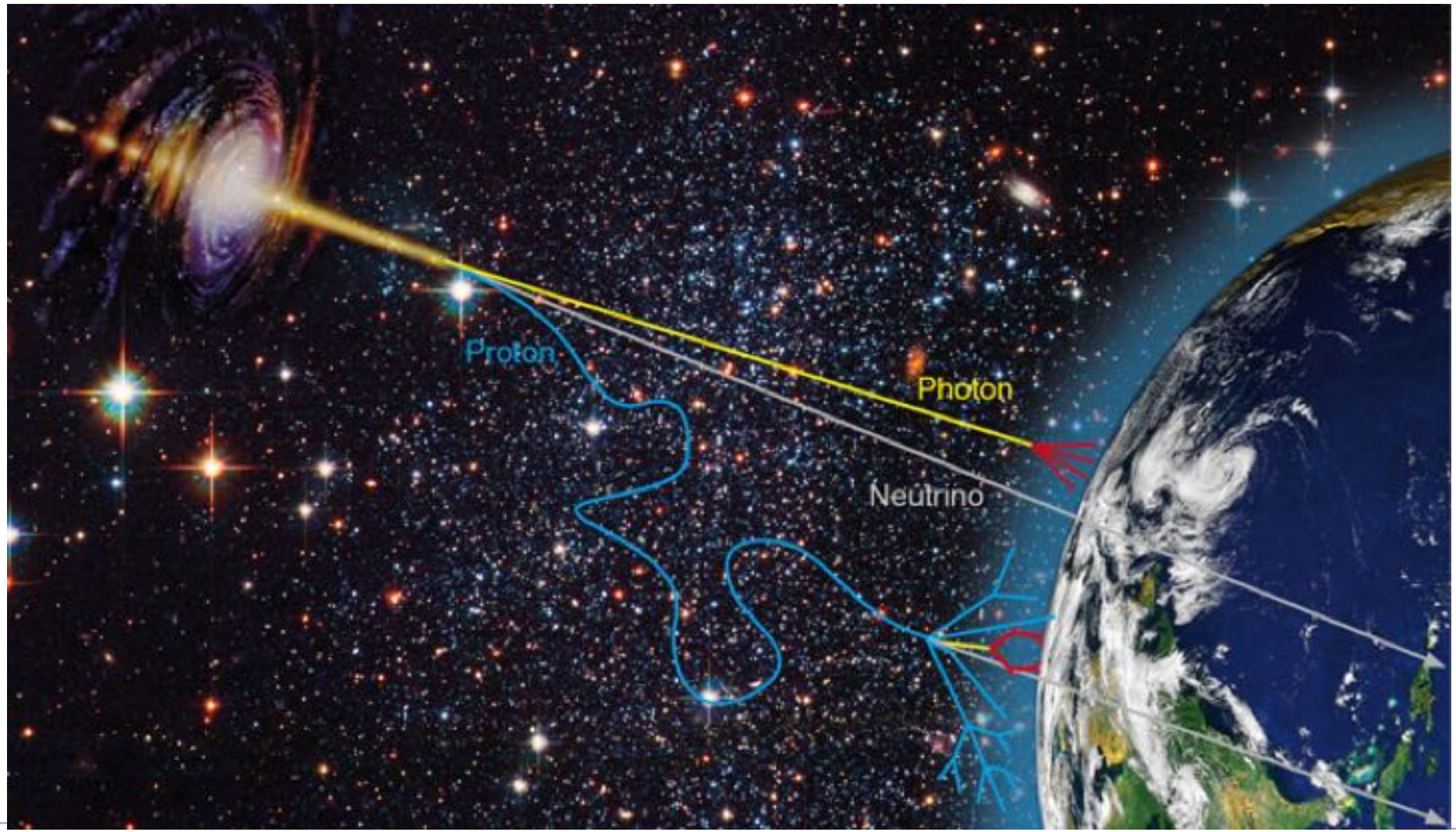

Sorgente
Creazione e accelerazione
.. tanti diversi apparati , ma stesso scopo
I raggi cosmici viaggiano per circa 10 milioni di anni nella nostra galassia prima di arrivare a noi
Propagazione
Raggi cosmici
Modulazione
γ
ν
Esperimenti spaziali a circa 400 km di altezza
Rivelazione diretta
Atmosfera
40 km
Balloons ~ 40 km
~3 g/cm² residual atmosphere
Rivelatori di sciami estesi
Esperimenti di Fisica delle Astroparticelle
Rivelatori in alta montagna
RivelatoriCherencov
Acceleratori di particelle
Esperimenti sottoterra, sotto il giaccio, sotto l'acqua

Durante il 20 esimo secolo la ricerca ci ha mostrato la vastità dell'Universo e ci ha rivelato violenti fenomeni cosmici e misteri



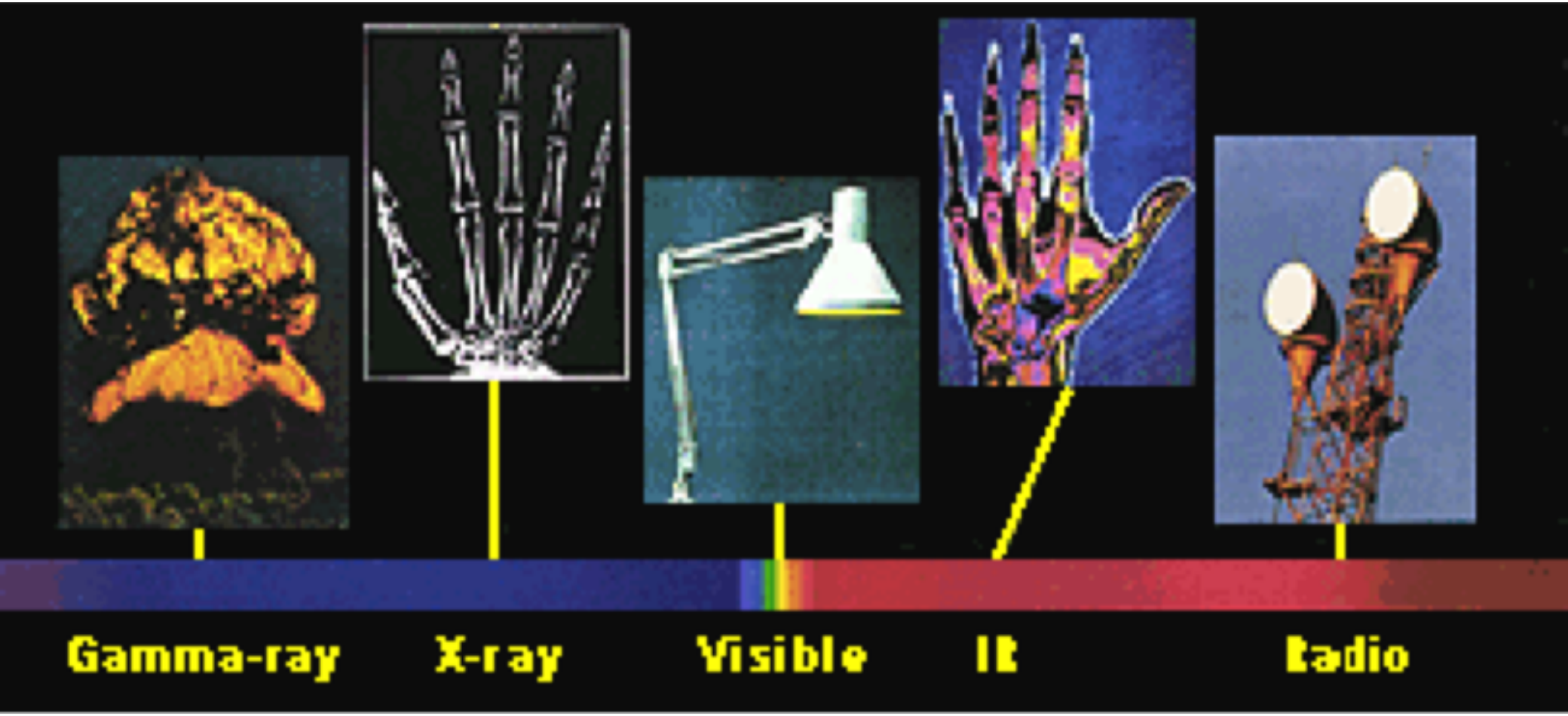
**e il futuro?**

# I raggi gamma arrivano direttamente dalla sorgente, non sono deviati dai campi magnetici in quanto neutri



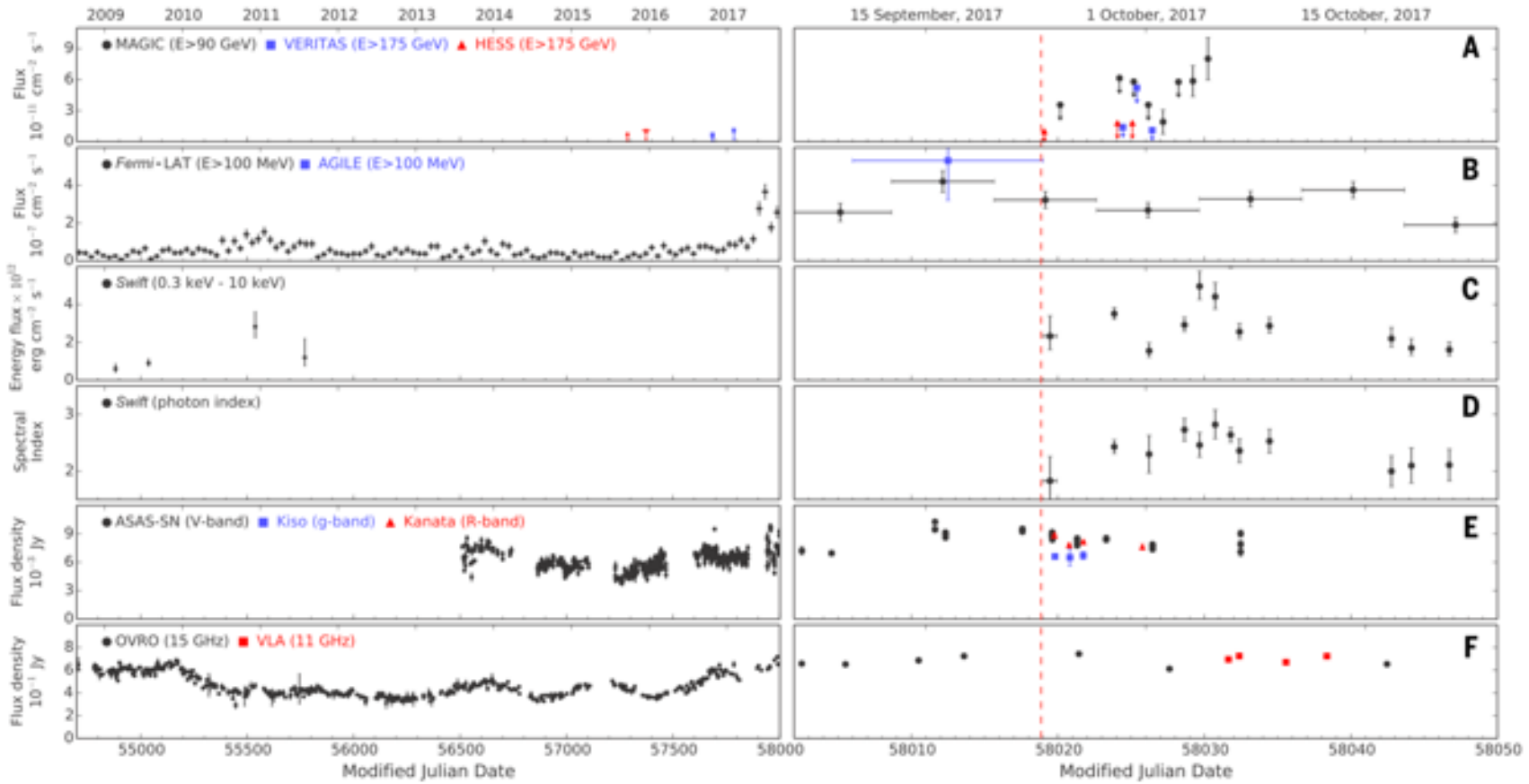
## Onde Radio, raggi di sole, fotoni Gamma

# Lo spettro elettromagnetico



# Astronomia multimessaggero: neutrini

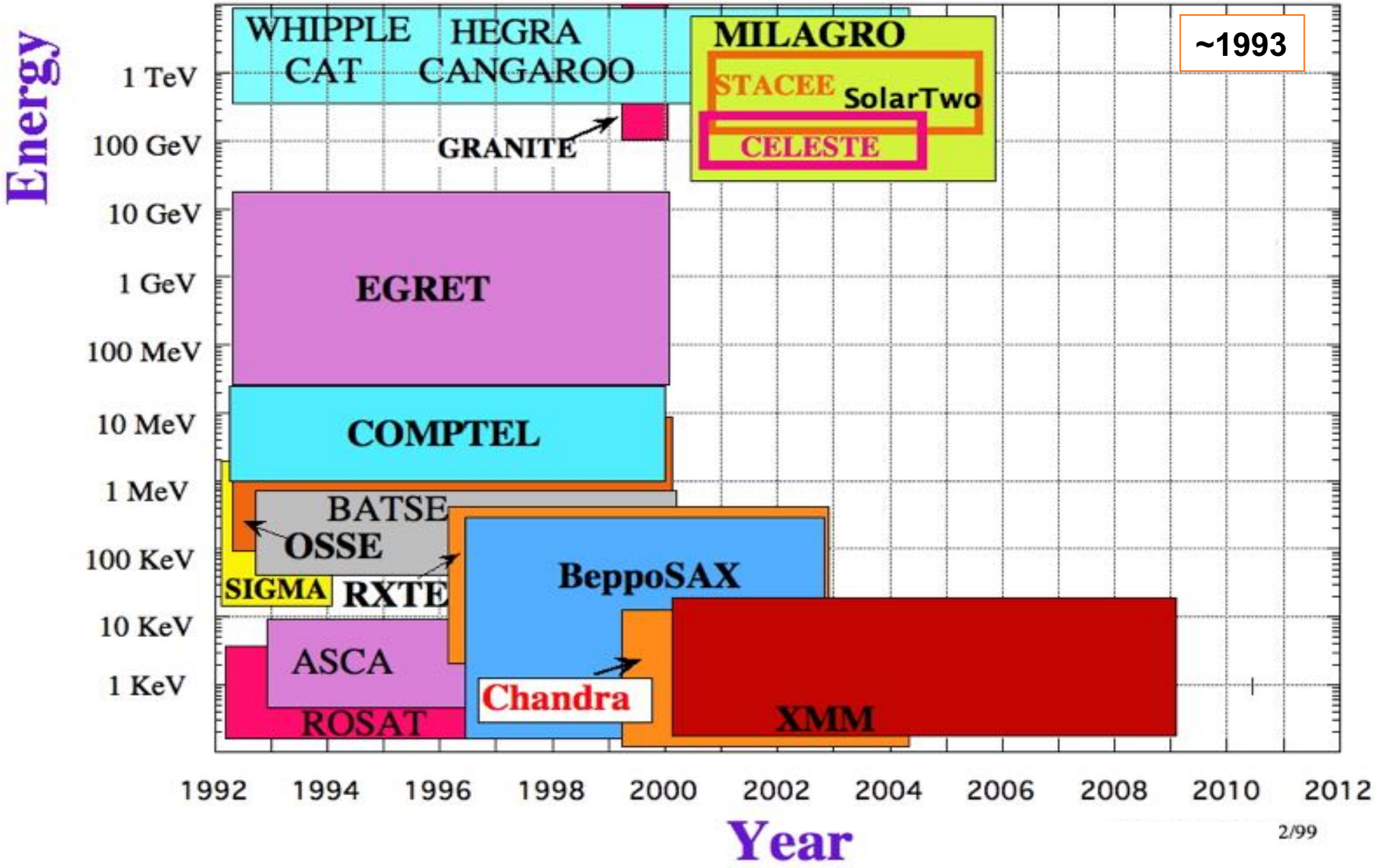
- I buchi neri delle galassie attive sono le sorgenti dei neutrini e quindi dei raggi cosmici di altissima energia (UHECR) ?
- Il caso di EHE 170922 (TXS 0506 +056)

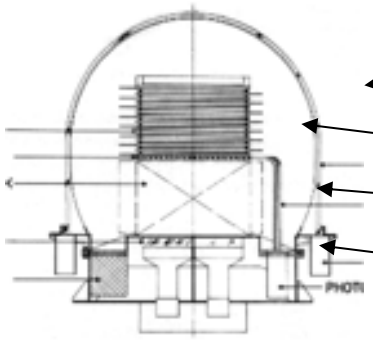



**Multiwavelength observations of TXS 0506+056 before and after IceCube-170922A**

Science 361, eaat1378 (2018) 12July

# Gli esperimenti di raggi gamma di alta energia





SAS-2
11/1972-7/1973

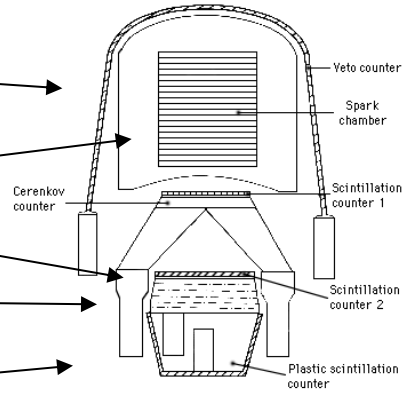
Anti-Coincidence Dome

Spark Chamber

Trigger Telescope

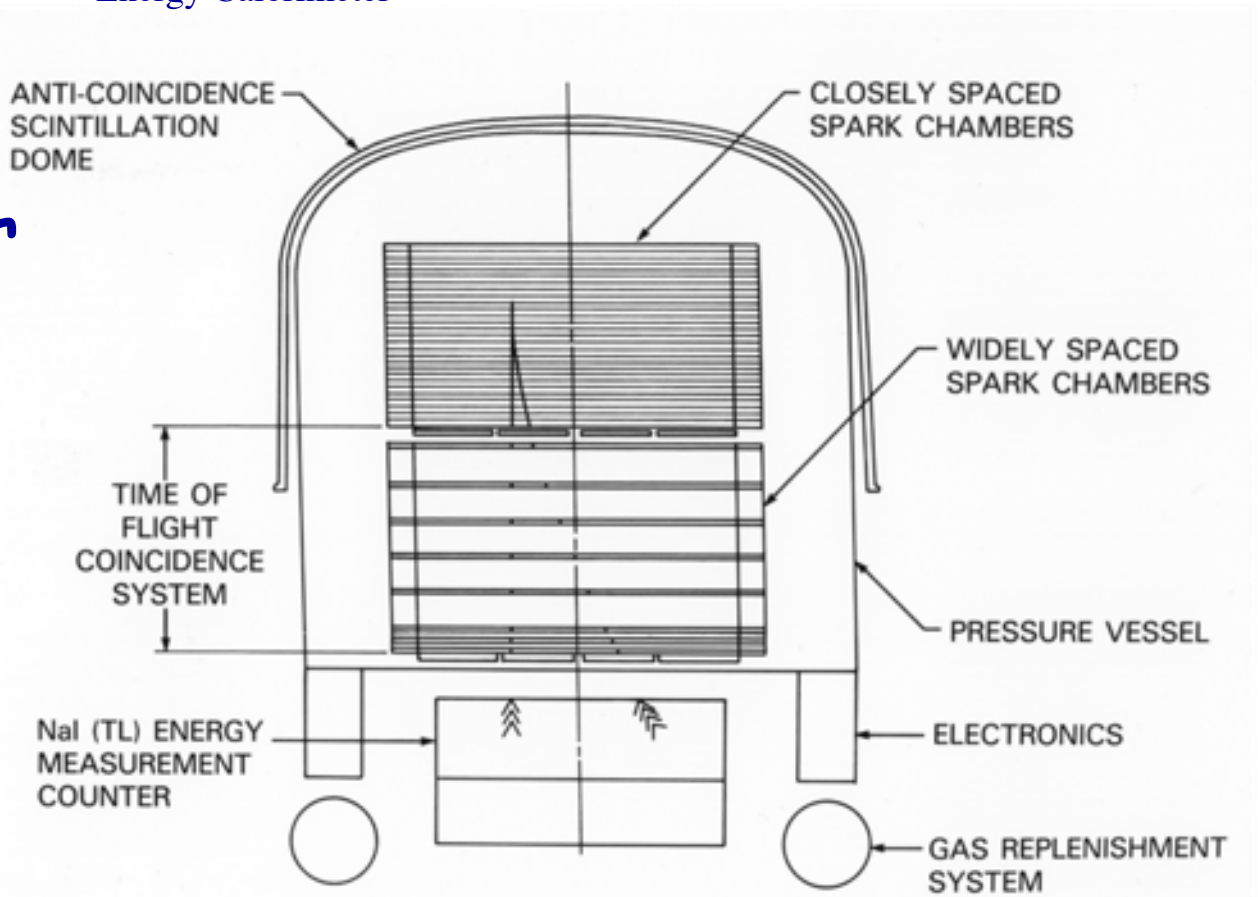
Cerenkov Counter

Energy Calorimeter




Cos-B
8/1975-4/1982

# Le missioni per lo studio dei raggi gamma




EGRET
4/1991-1999