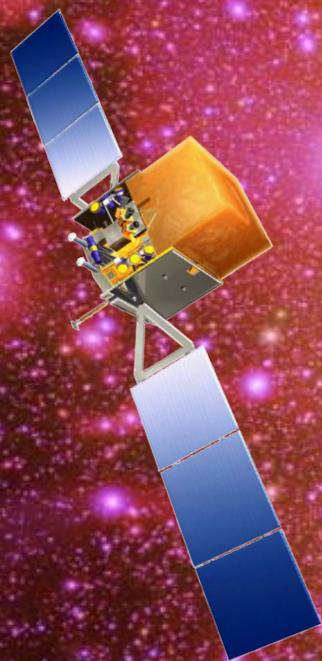


# L'osservatorio spaziale Fermi



**Aldo Morselli**

*INFN Roma Tor Vergata*

s t u d e n t s  
e m o i n f n - l n f

**STAGES PER STUDENTI DI SCUOLA SECONDARIA**  
LNF 16 Giugno 2010

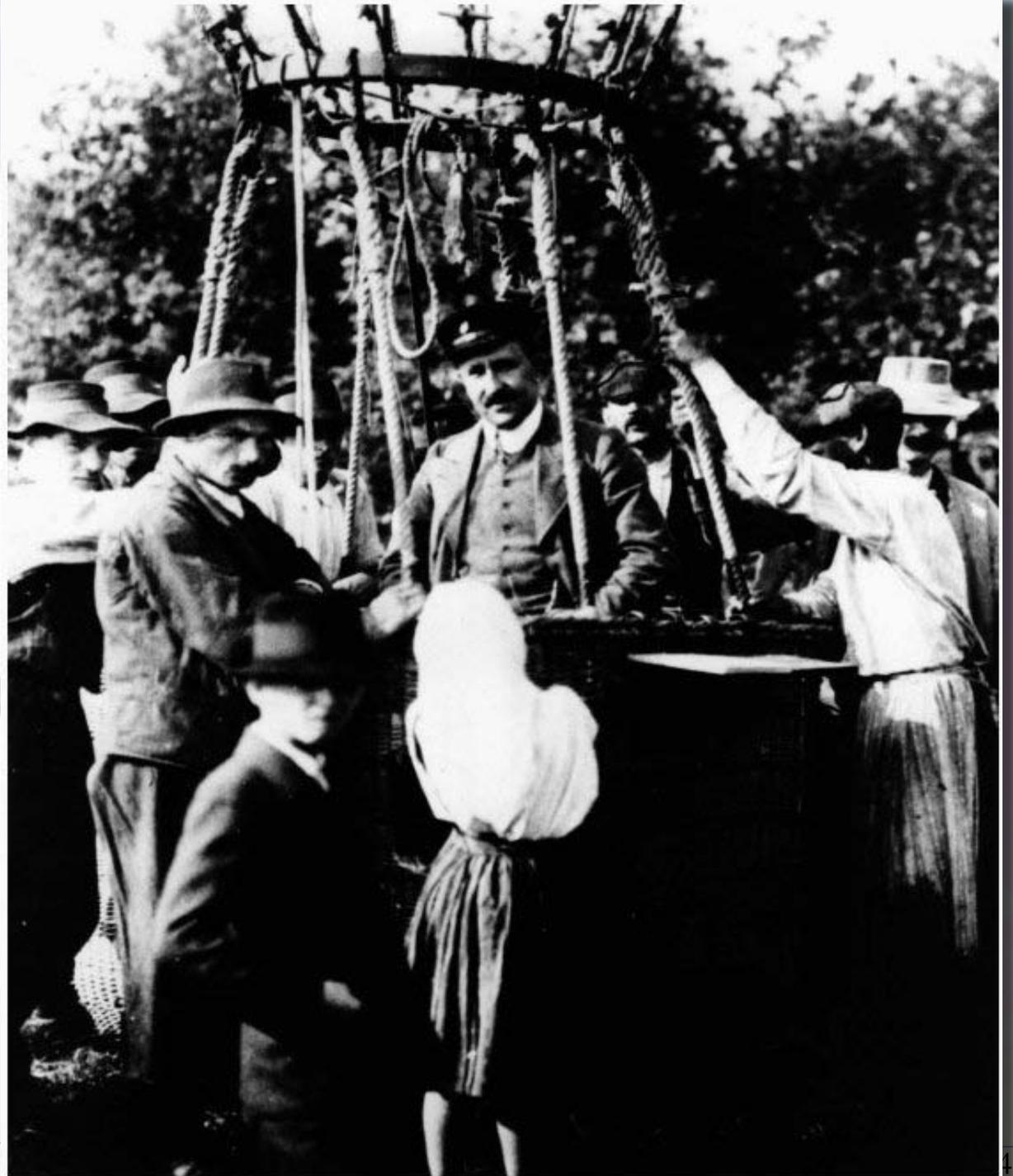
# Cosa Riceviamo dal Cielo

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

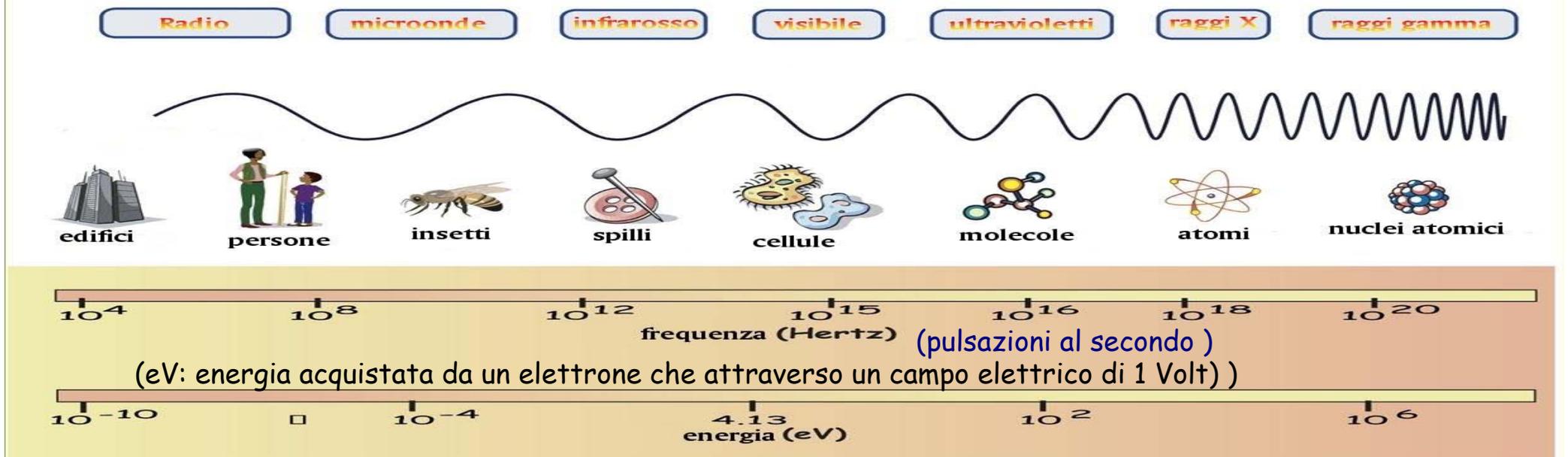
# Raggi Cosmici

- 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.

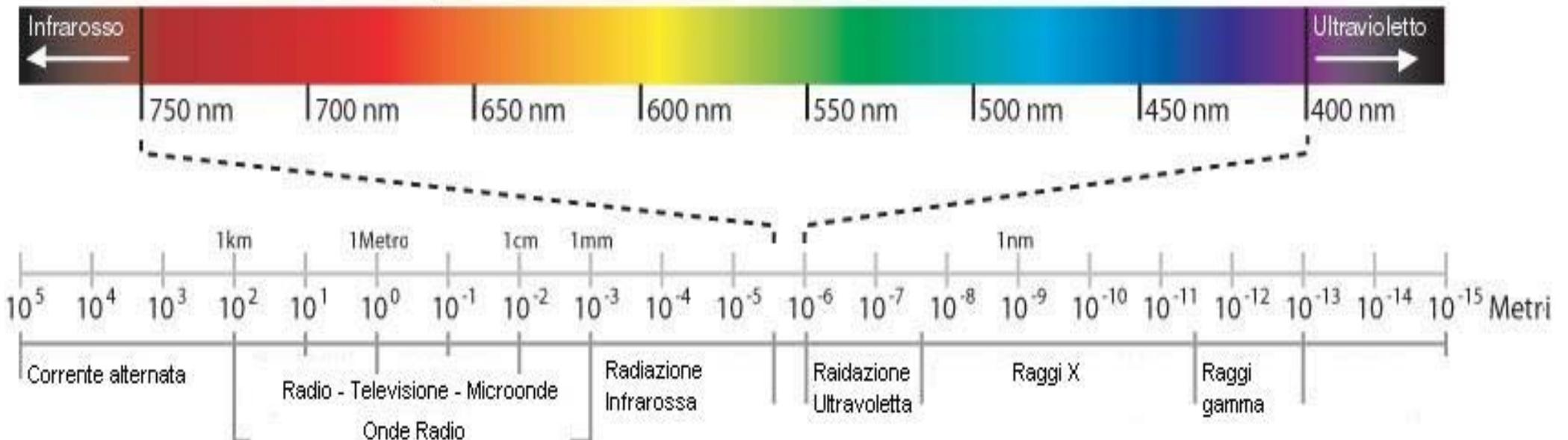
*Victor Hess dopo uno dei voli su pallone nei quali è stato scoperto l'aumento di radiazione ionizzante con l'altitudine*



# Radiazione elettromagnetica



## Spettro di luce visibile all'occhio umano



ma esistono i raggi gamma ?

e come vengono prodotti ?

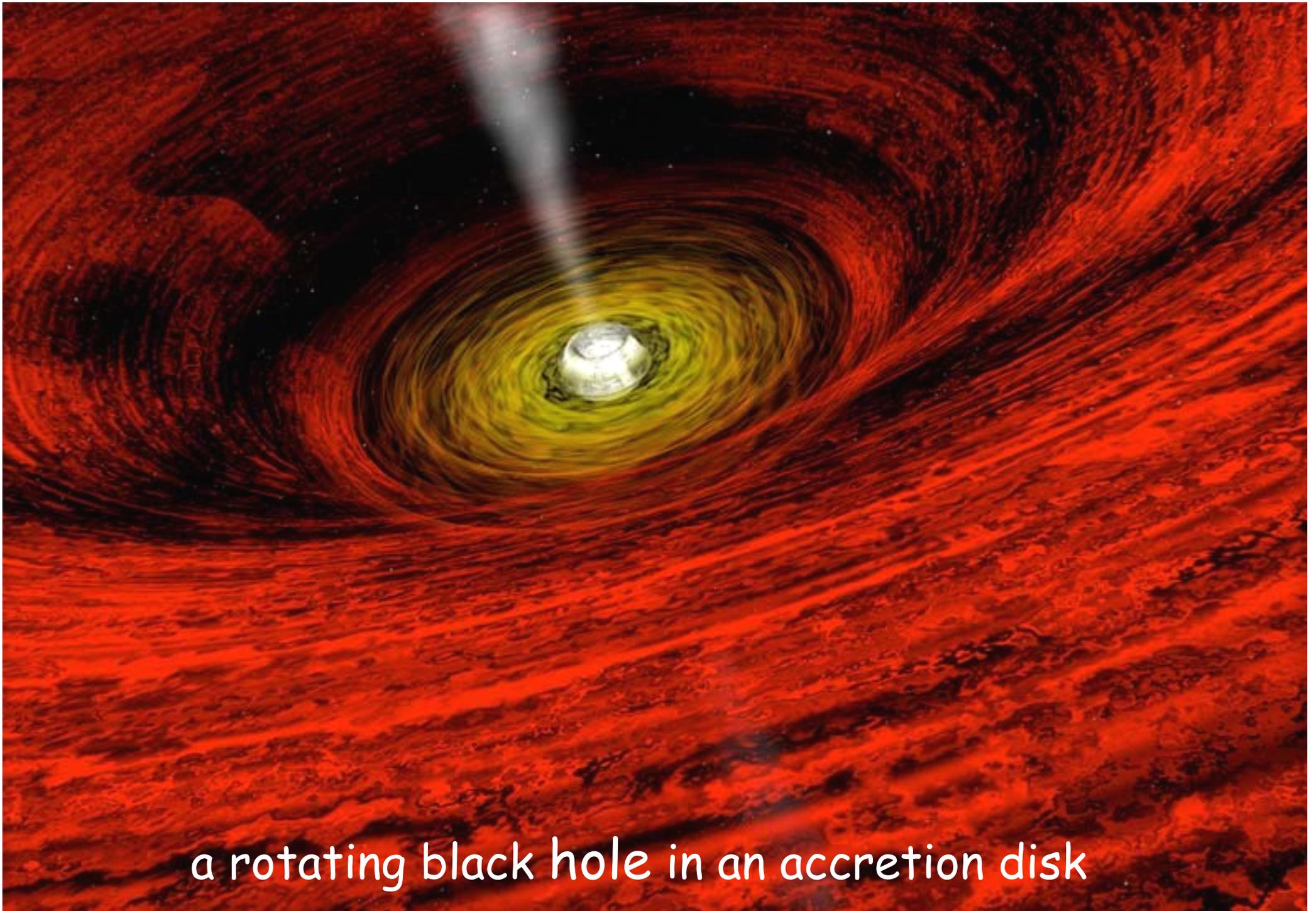


# Esplosione di supernova





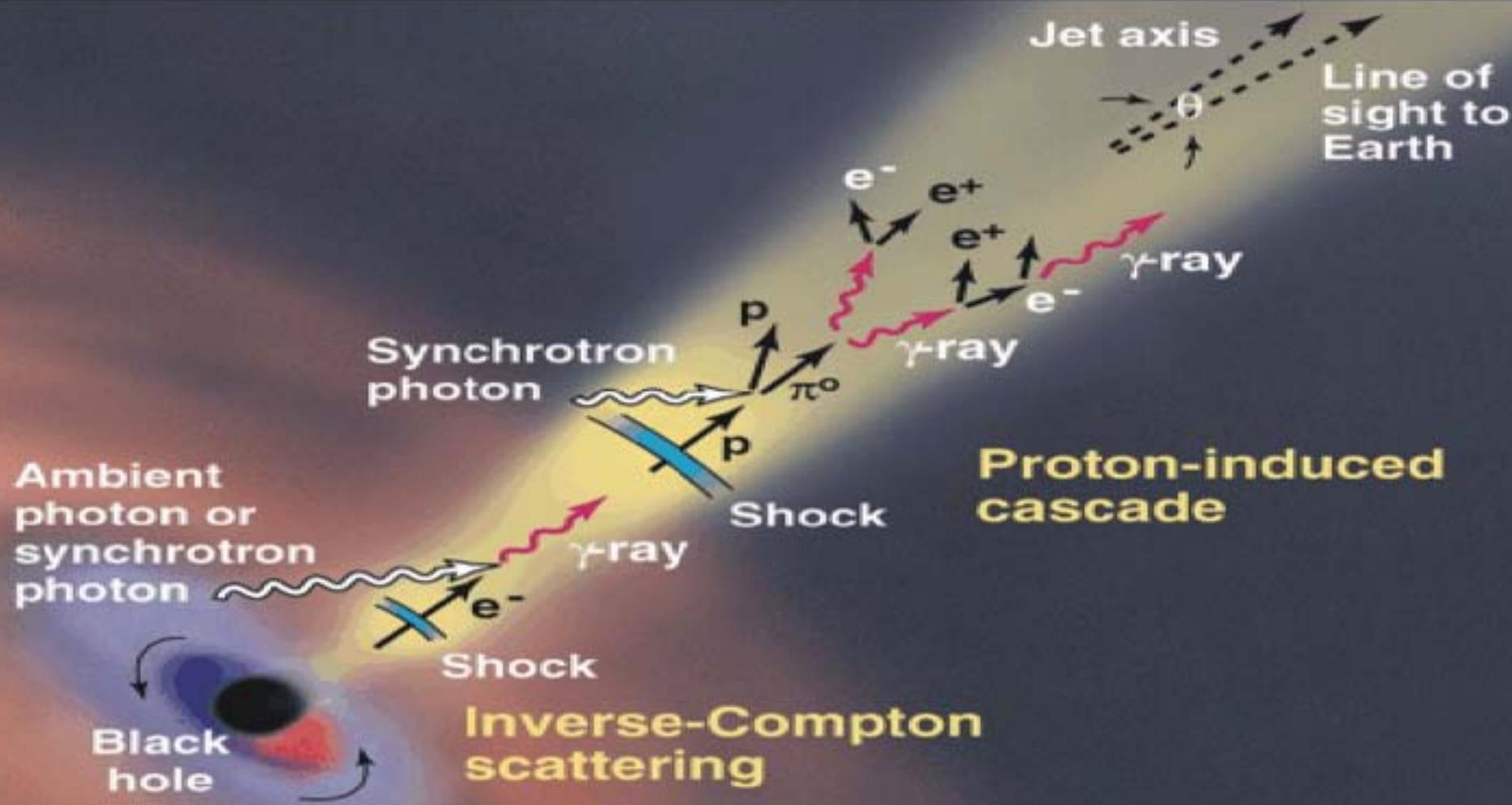
La CRAB Pulsar



a rotating black hole in an accretion disk





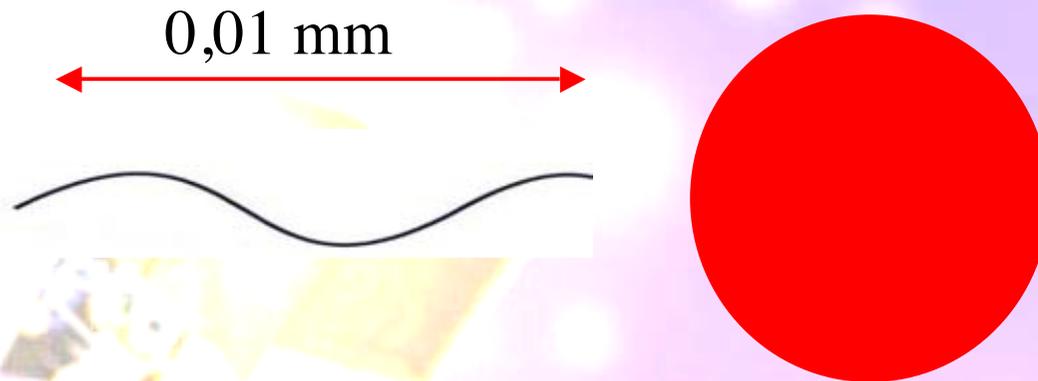


Models for High Energy Emission: A cartoon



- Il principio di indeterminazione

con onde di 0,01 mm è facile vedere oggetti di 1 mm

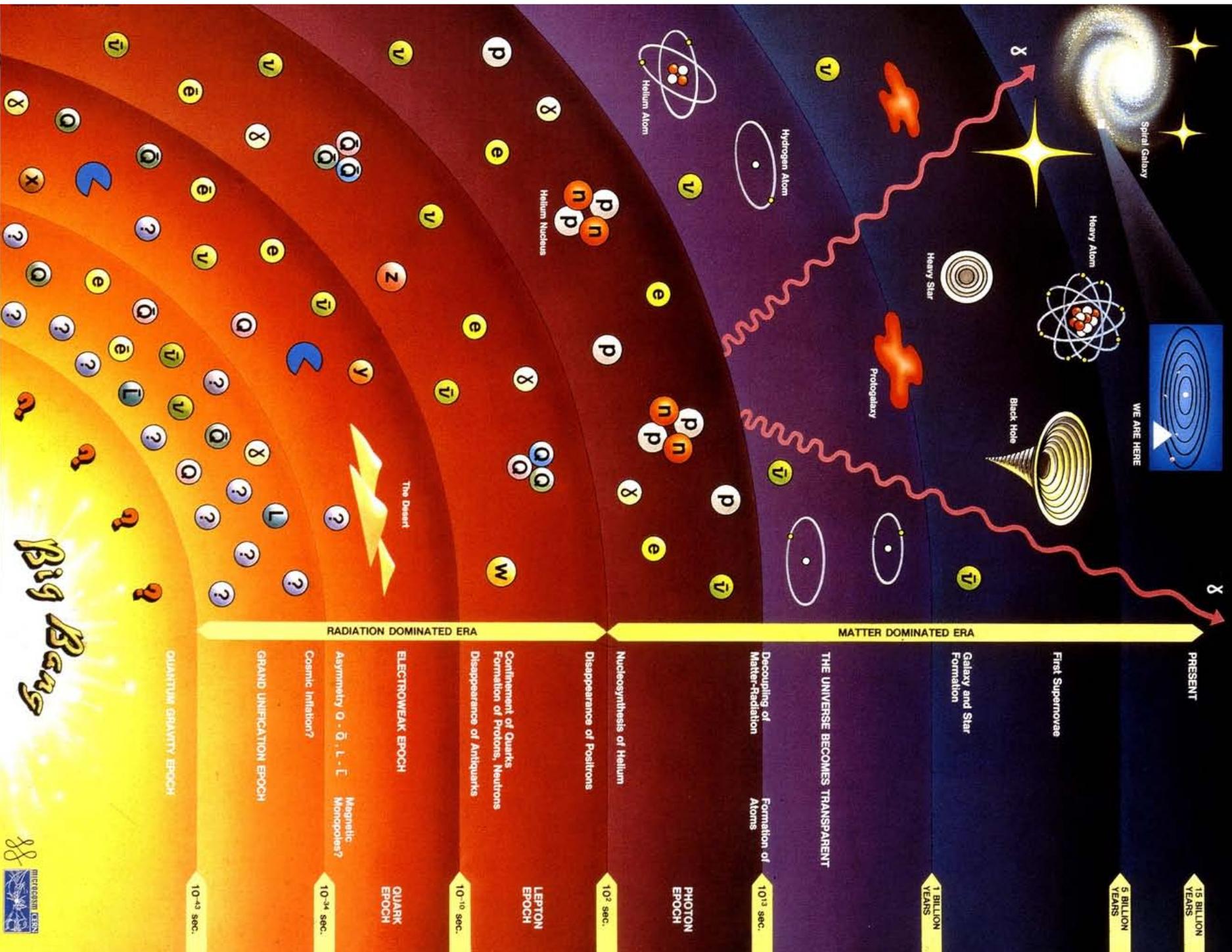


ma è difficile vedere oggetti di 0,001 mm !

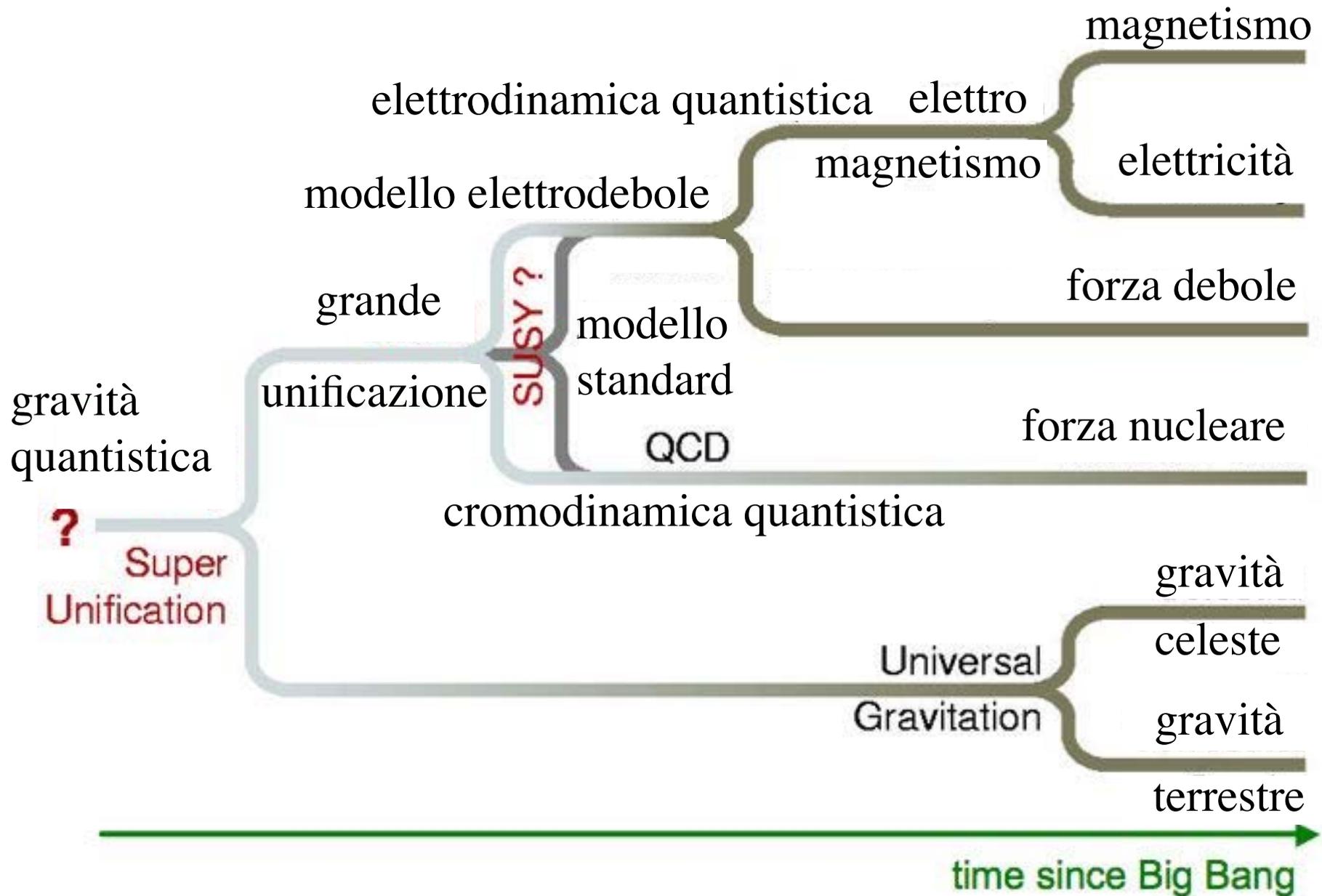


- per vedere oggetti di 0,001 mm servono lunghezze d'onda più piccole , cioè quanti di luce (fotoni ) di energia più elevata
  - che perturbano il sistema ( cioè forniscono energia al sistema )
  - in pratica più precisa è la posizione che si vuole misurare più indeterminata è l'energia del sistema e viceversa.
  - **Conseguenza importante :**  
in intervalli spaziali piccoli è possibile violare il principio di conservazione dell'energia !
- Altra piccola conseguenza:  
l'Universo potrebbe essere nato da una fluttuazione quantistica del vuoto !

# History of the Universe



# Fisica delle Particelle dopo il Big Bang

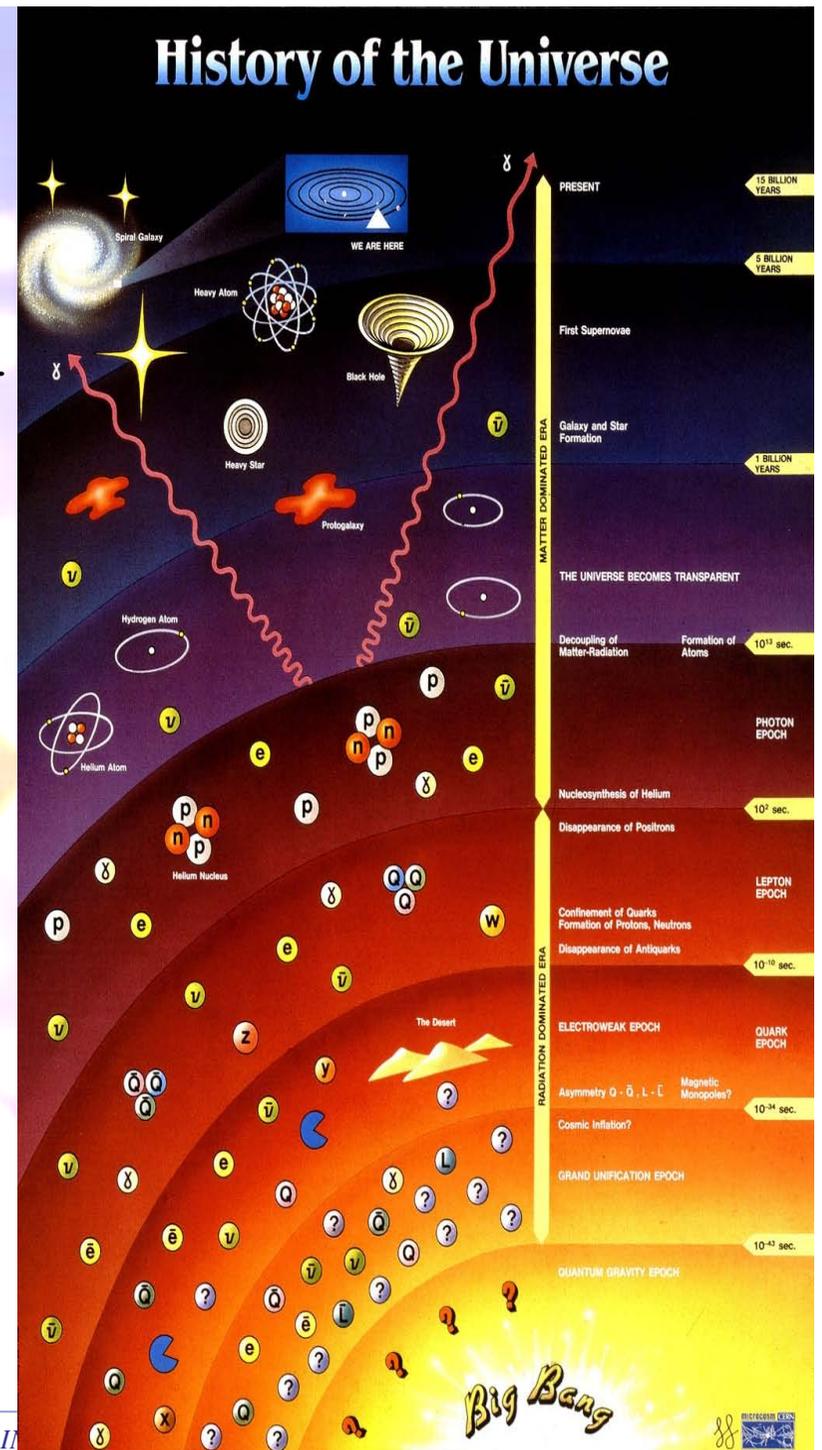


La teoria del **big bang** descrive l'evoluzione dell'Universo da uno stato caldo e denso ( $10^{50}$  volte la densità attuale), **13,7 miliardi di anni fa**, ai giorni nostri.

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**.

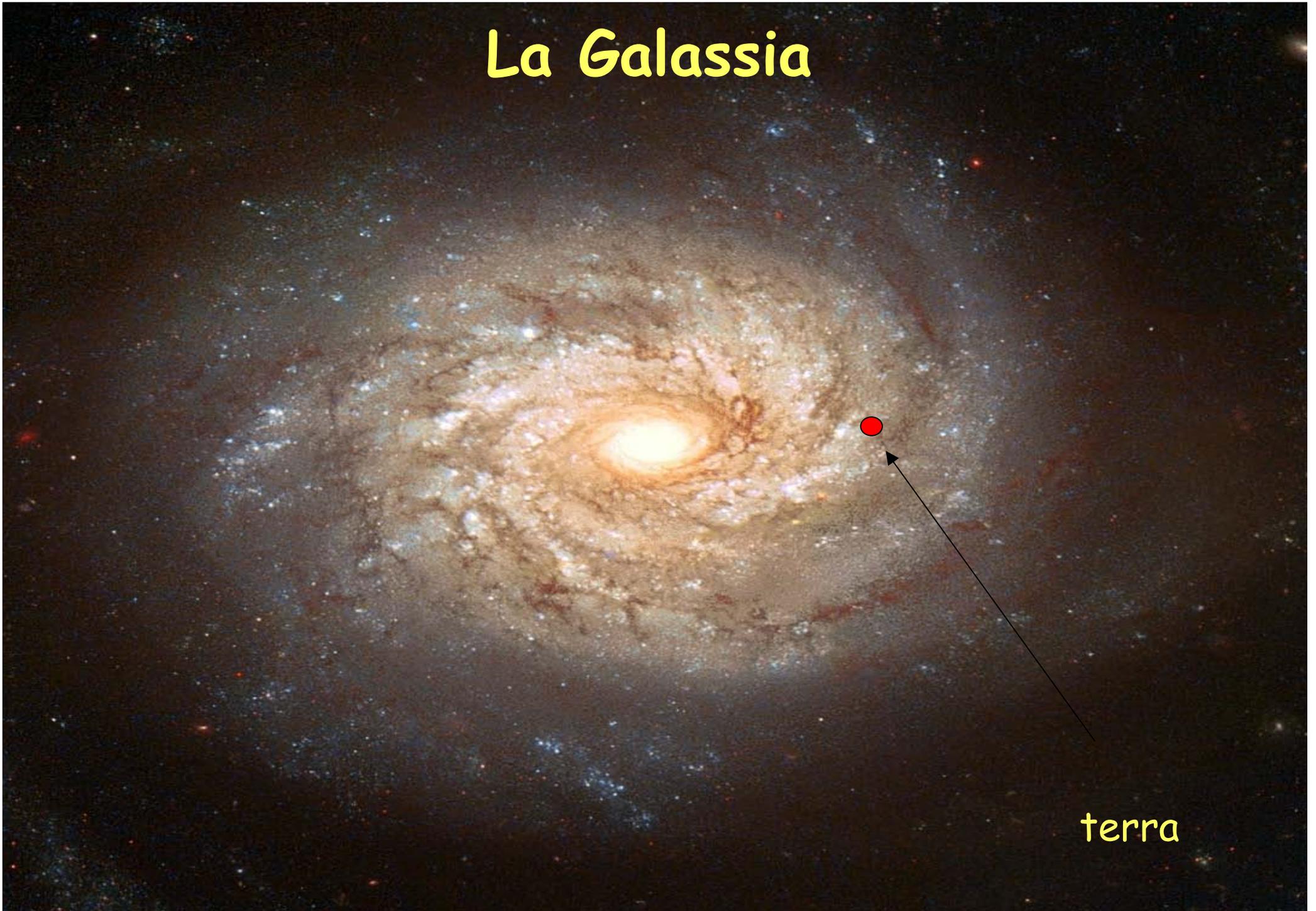
L'esistenza della materia oscura è dedotta da misure della velocità di rotazione delle galassie. Tali misure portano a ipotizzare la presenza di un alone sferico di materia invisibile (non luminosa) nel quale sarebbe immersa ogni galassia.



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



# La Galassia



terra

# Di cosa è fatto l'Universo?

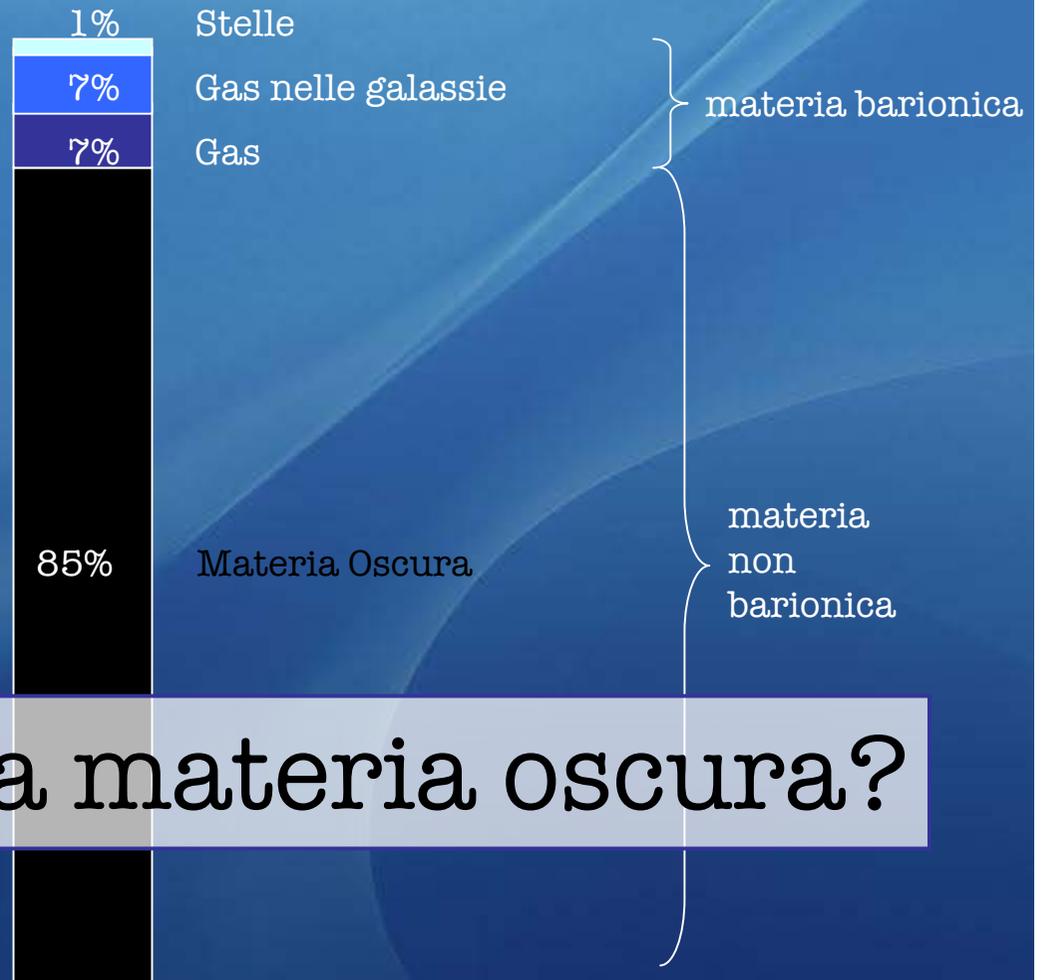
Ora sappiamo che esiste della materia oscura, necessaria per spiegare la dinamica delle stelle nelle Galassie e delle galassie negli ammassi di Galassie.

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

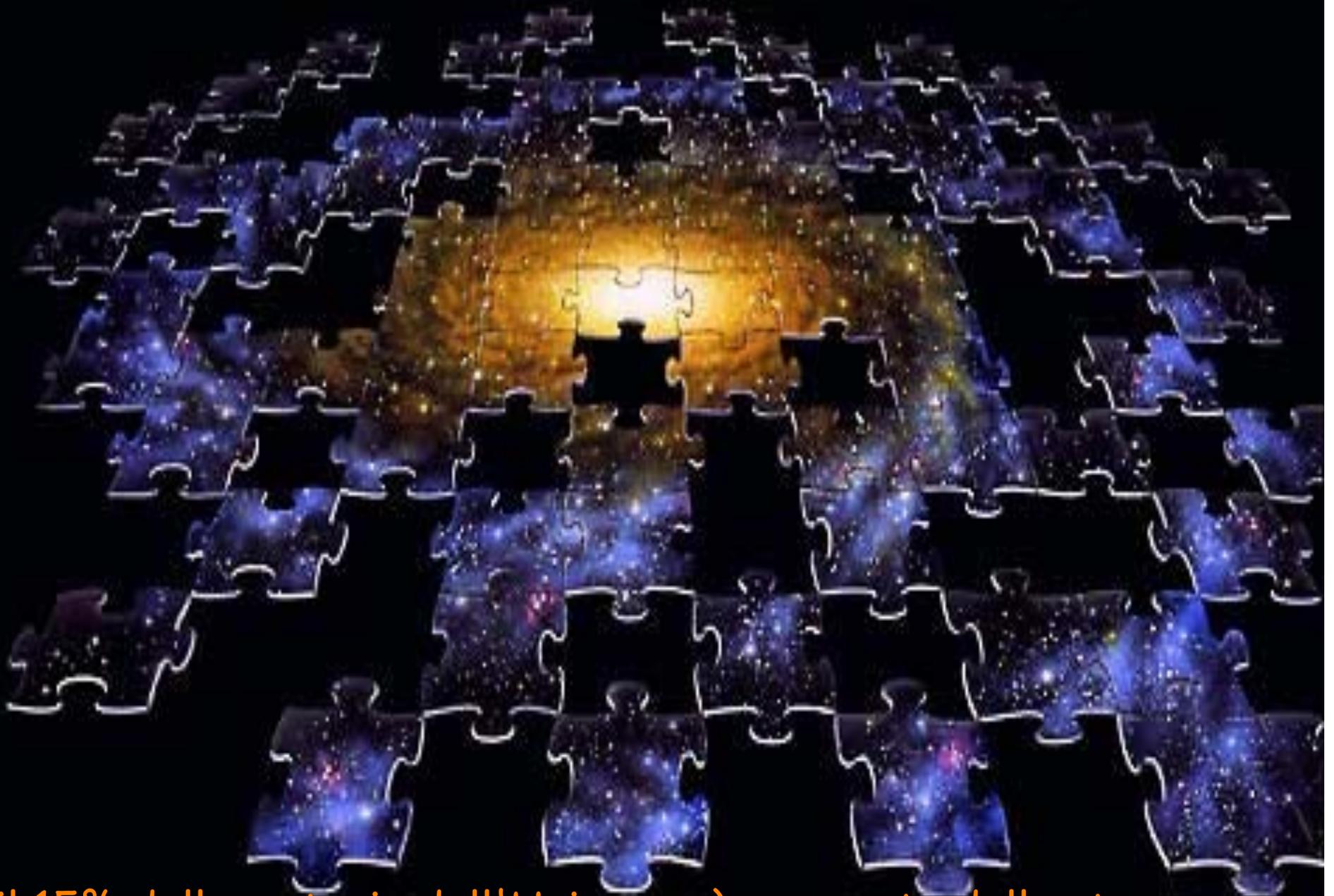


- Le stelle periferiche delle galassie ruotano più velocemente della velocità di fuga e l'unica spiegazione è che ci sia più materia di quella che vediamo nella galassia. Questa è un'evidenza indiretta della presenza di materia oscura.

# 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 !

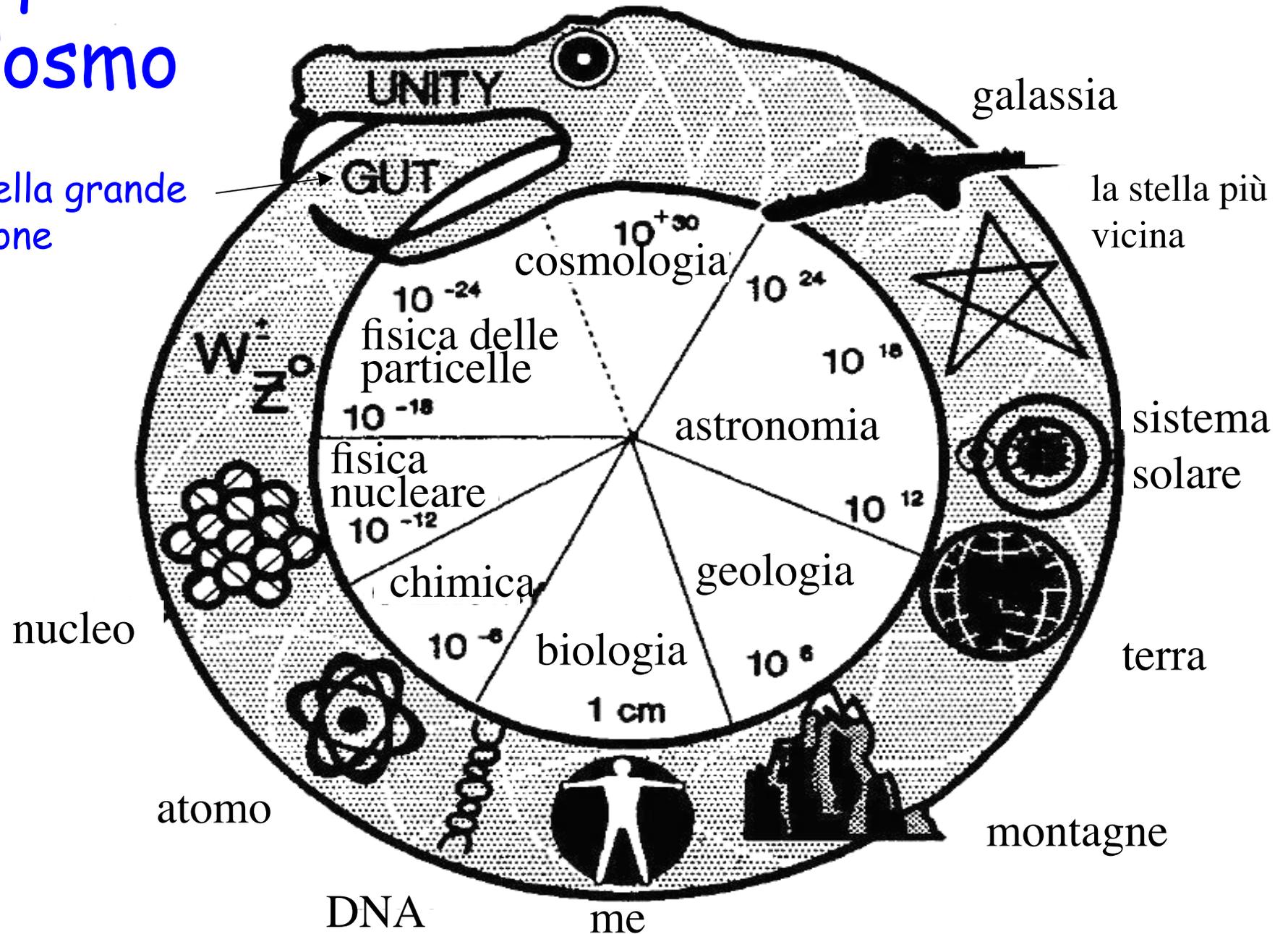


ma come si fa a scoprire cos'è la materia oscura ?

# Dai quark al Cosmo

## L'Universo

Teorie della grande  
unificazione

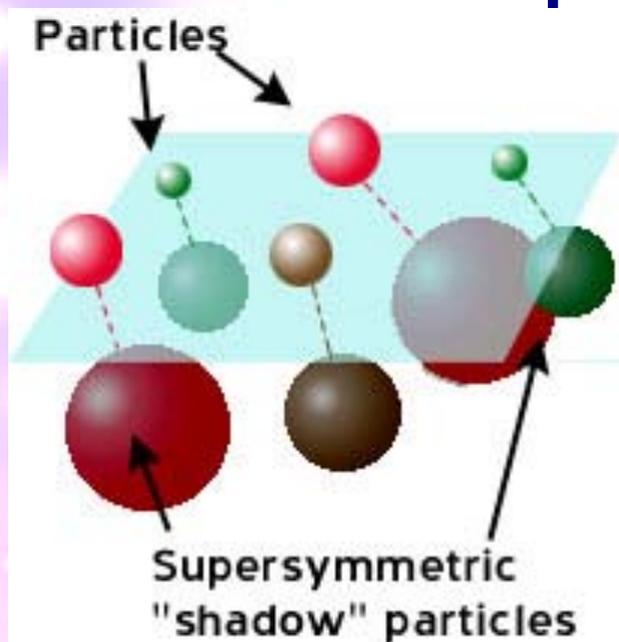


viale  
dell'Astronomia

via  
della Fisica

# Supersimmetria

Particella  $\longleftrightarrow$  Partner  
supersimmetrico



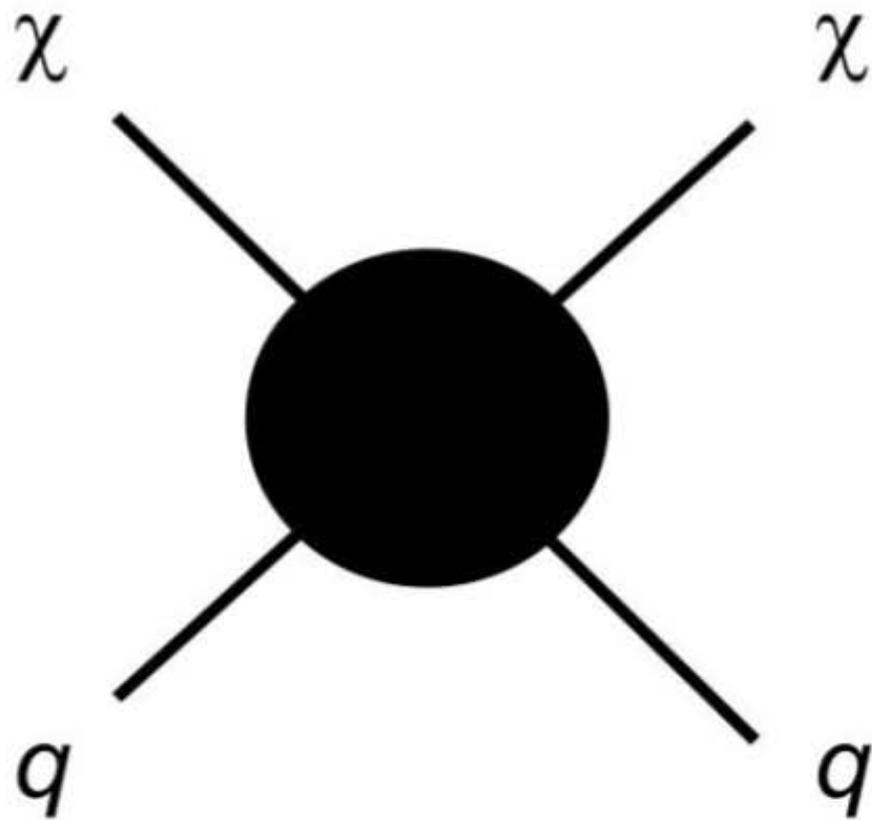
è possibile che la materia oscura sia formata dalla particella supersimmetrica più leggera, unico rimasto dopo il Big bang

**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

annichilazione  
(rivelazione indiretta)



creazione  
(acceleratori di particelle)



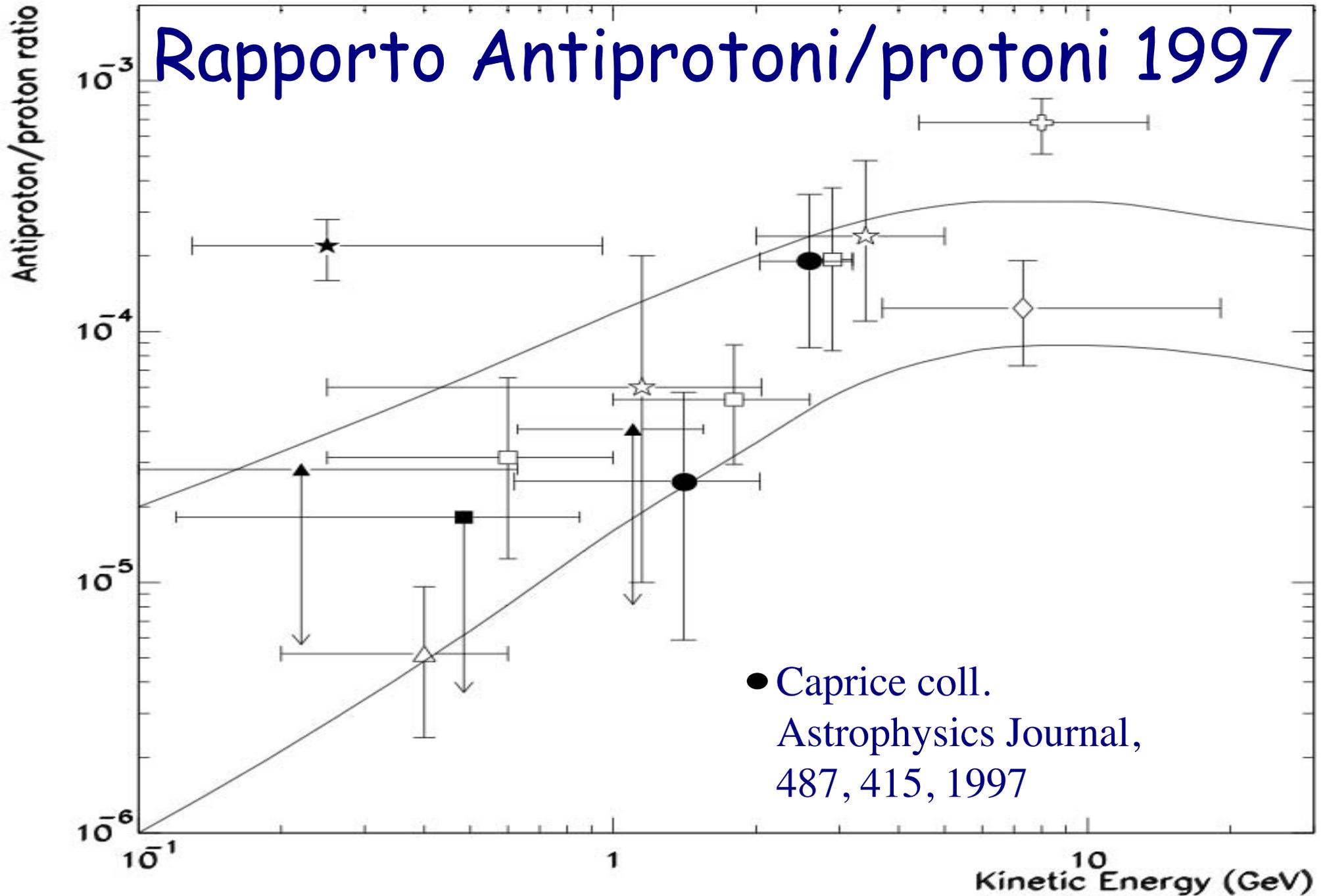
interazione  
(rivelazione indiretta)

# Neutralino WIMPs



Assumiamo che  $\chi$  sia presente nella galassia

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

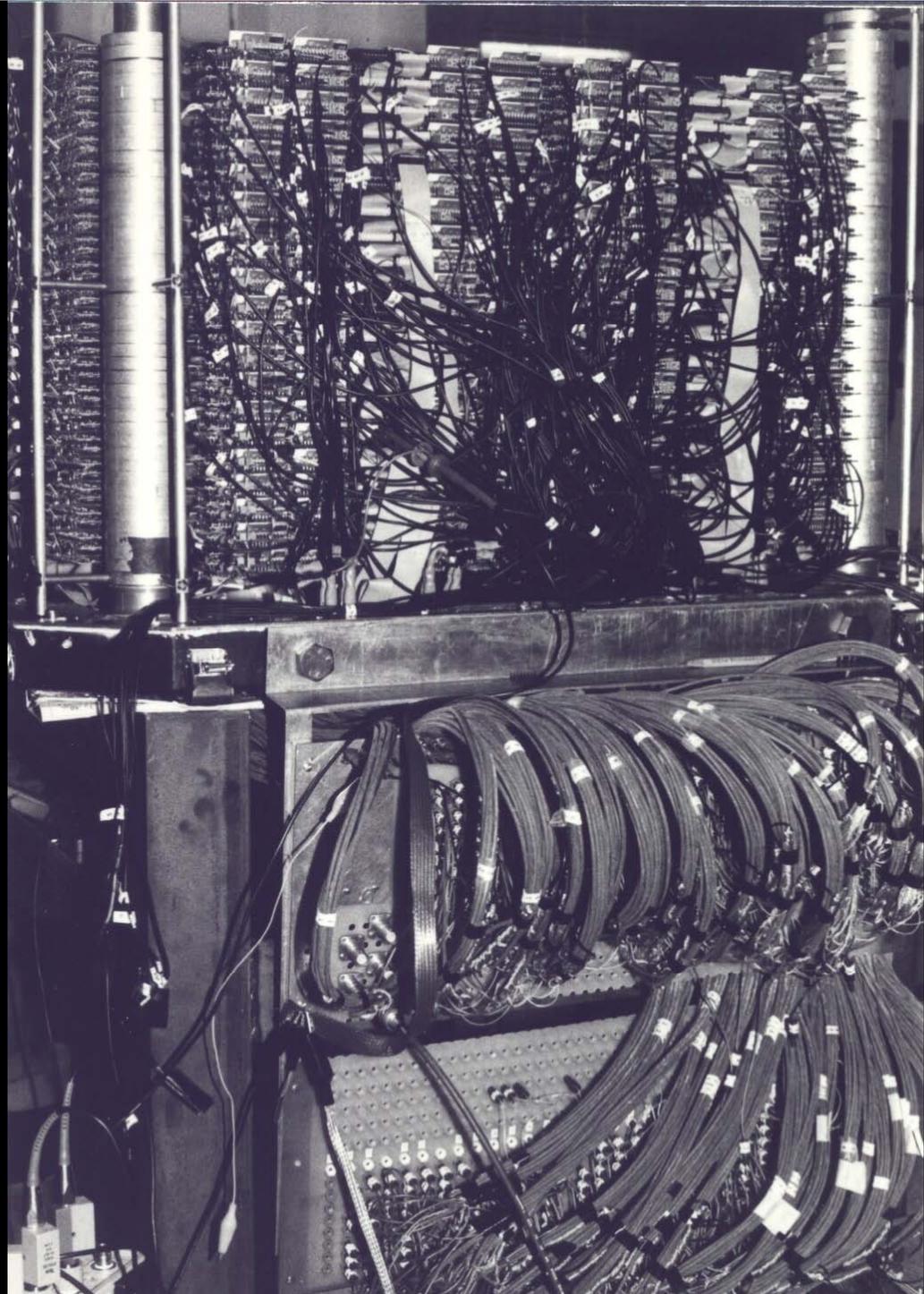


# MASS Matter Antimatter Space Spectrometer



**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

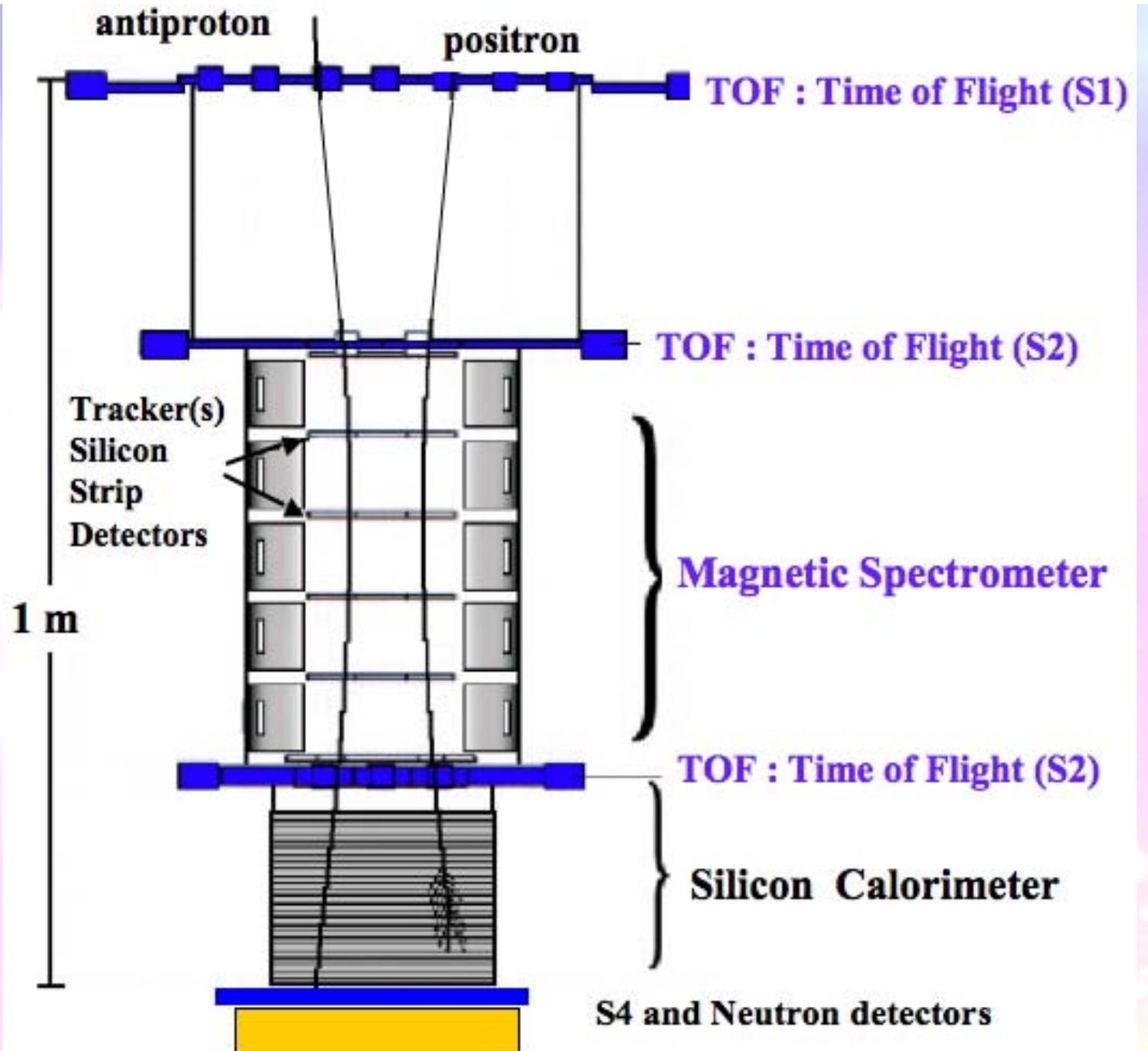
# PAMELA

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

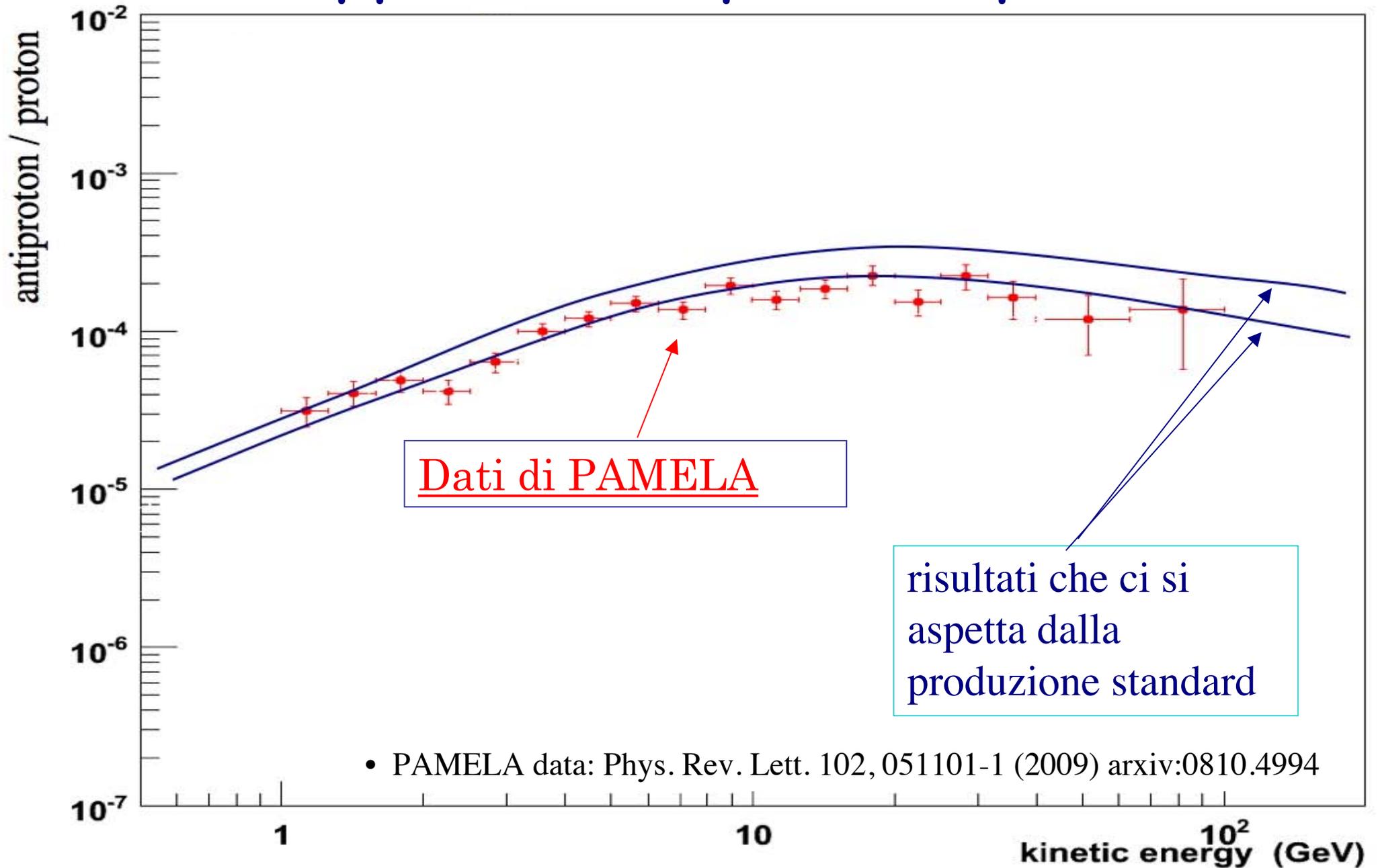
In orbita dal Giugno 2006, a bordo del satellite DK1 lanciato da un razzo Soyuz dalla base di lancio di Bajkonour



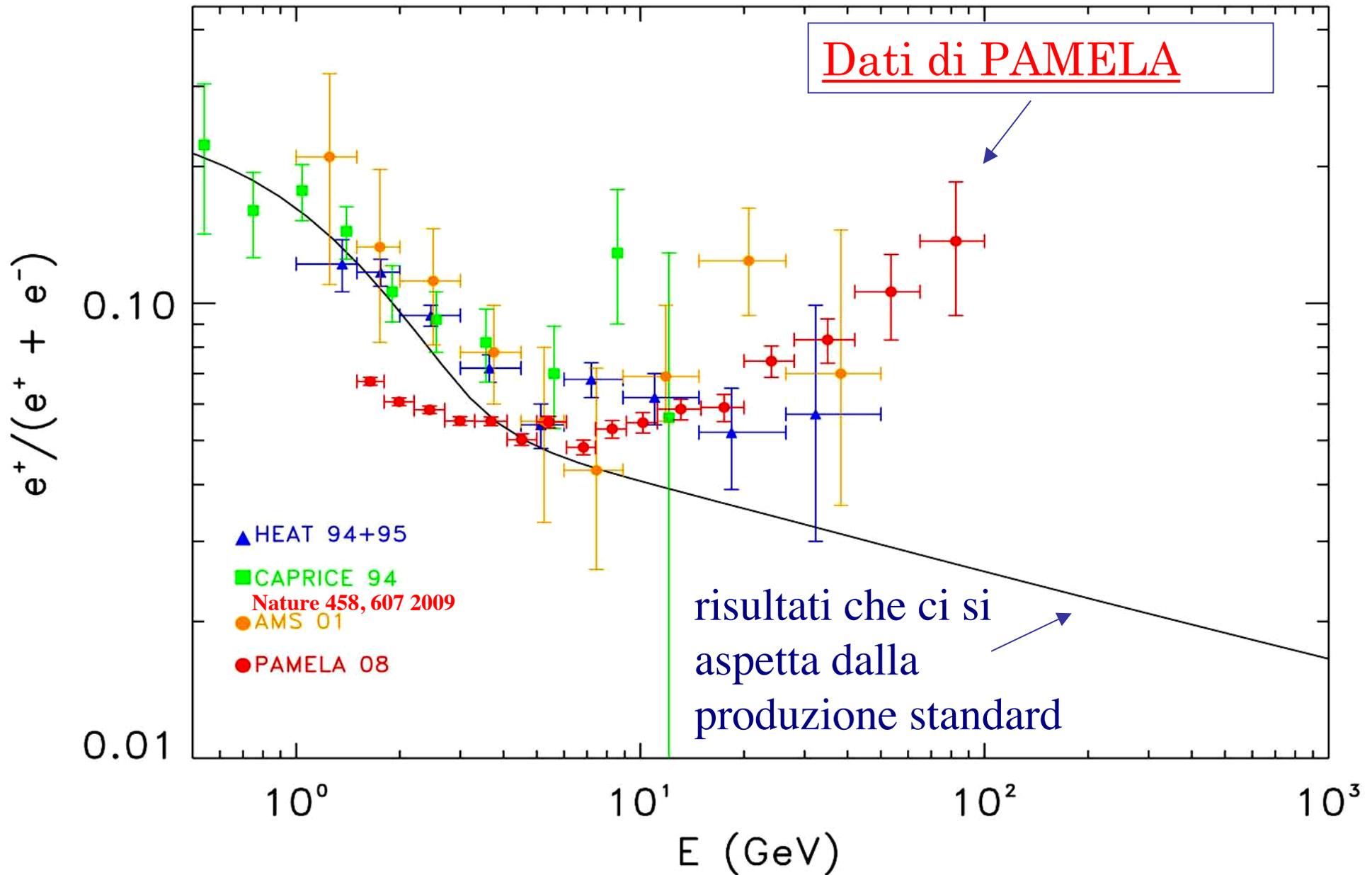
# Pamela



# Rapporto Antiprotoni/protoni



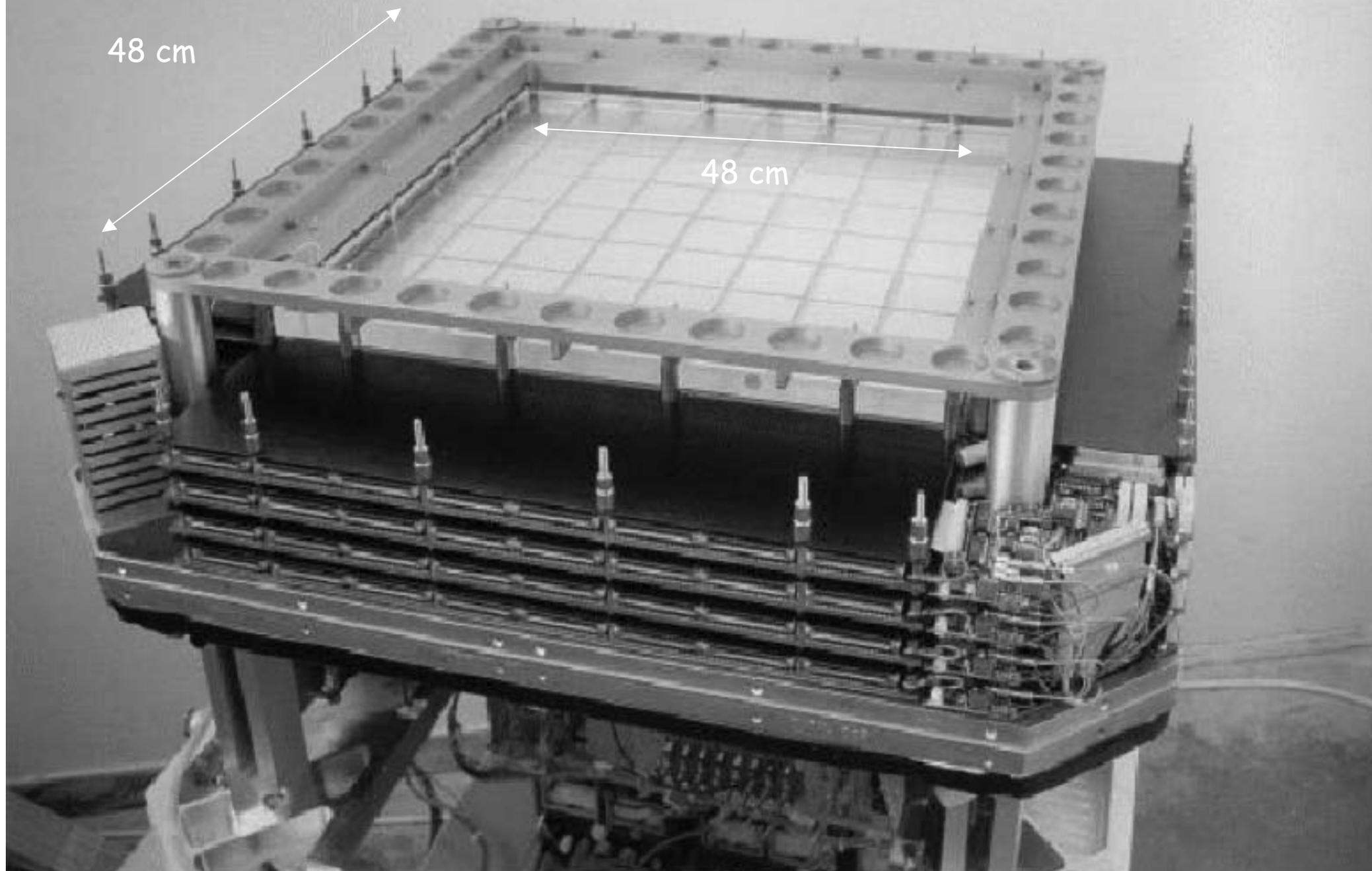
# 2009: rapporto positroni / (elettroni+positroni)



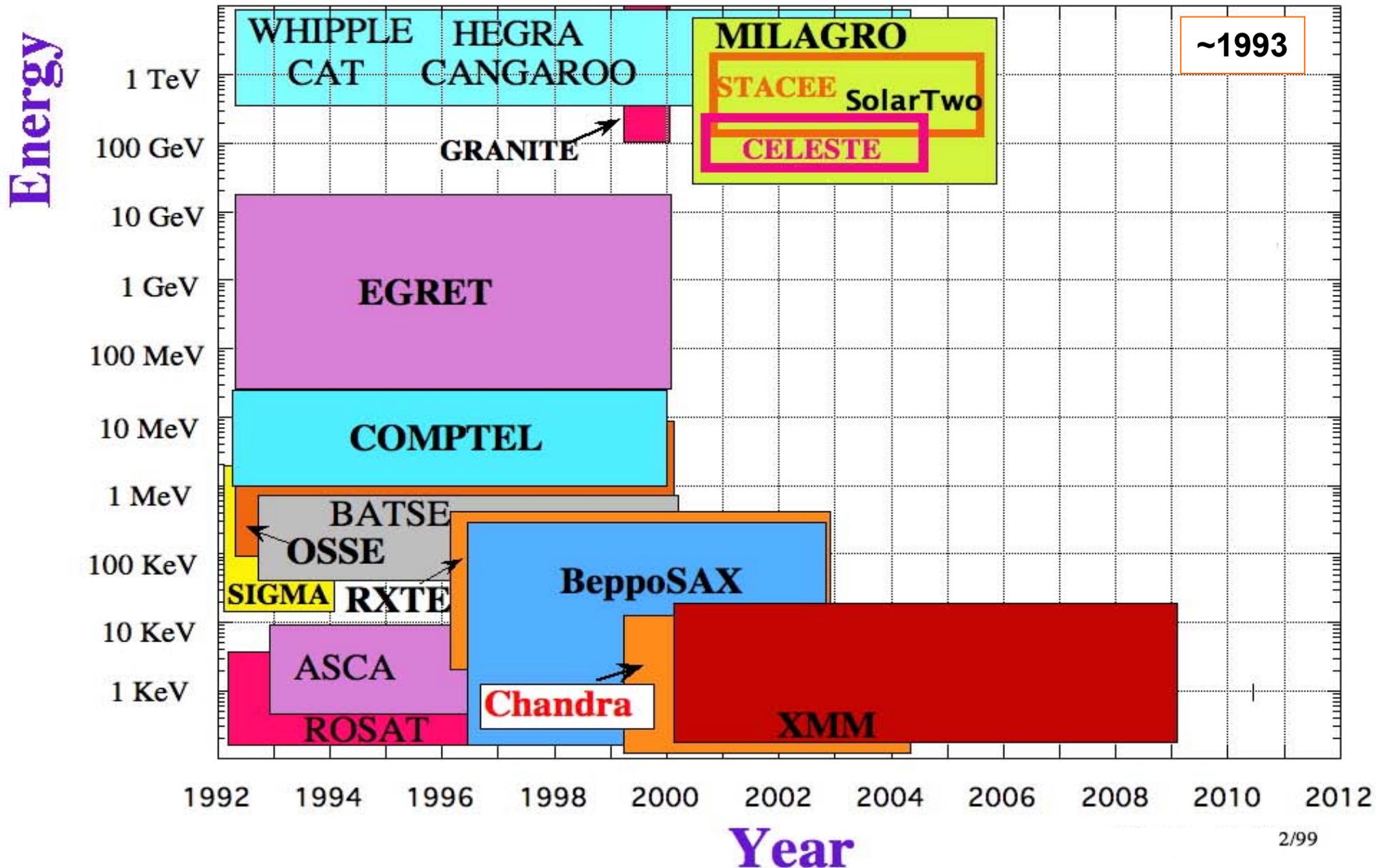
# Il volo di CAPRICE 94



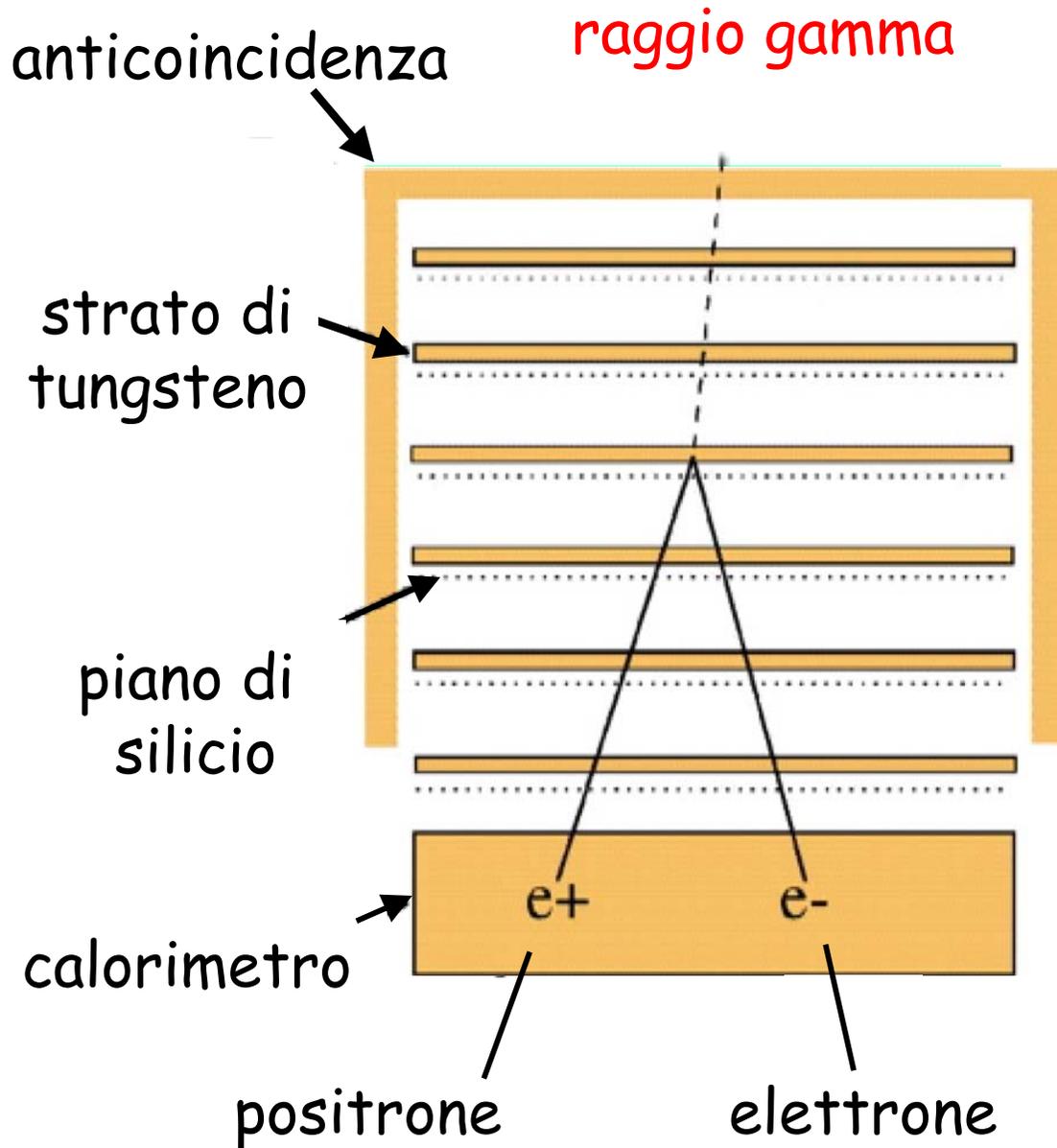
il calorimetro silicio-tungsteno di CAPRICE



# Gli esperimenti di raggi gamma di alta energia

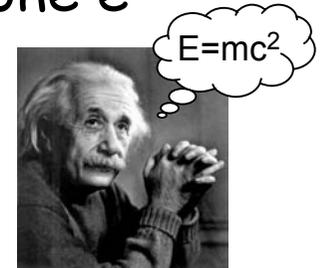


# Rivelare i raggi gamma

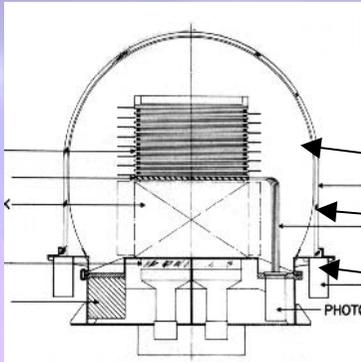


La produzione di coppia elettrone - positrone avviene attraverso la trasformazione dell'energia elettromagnetica associata al fotone (il raggio gamma) quando interagisce con il campo elettromagnetico del nucleo pesante (tungsteno, piombo). Questo è possibile grazie a:

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



SAS-2  
11/1972-7/1973



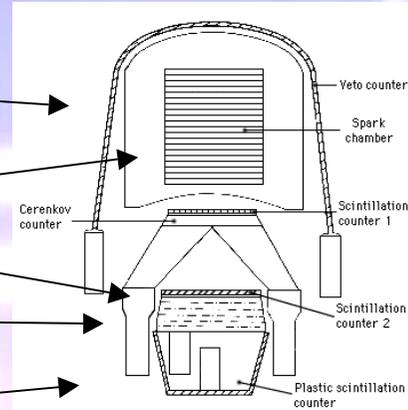
Anti-Coincidence Dome

Spark Chamber

Trigger Telescope

Cerenkov Counter

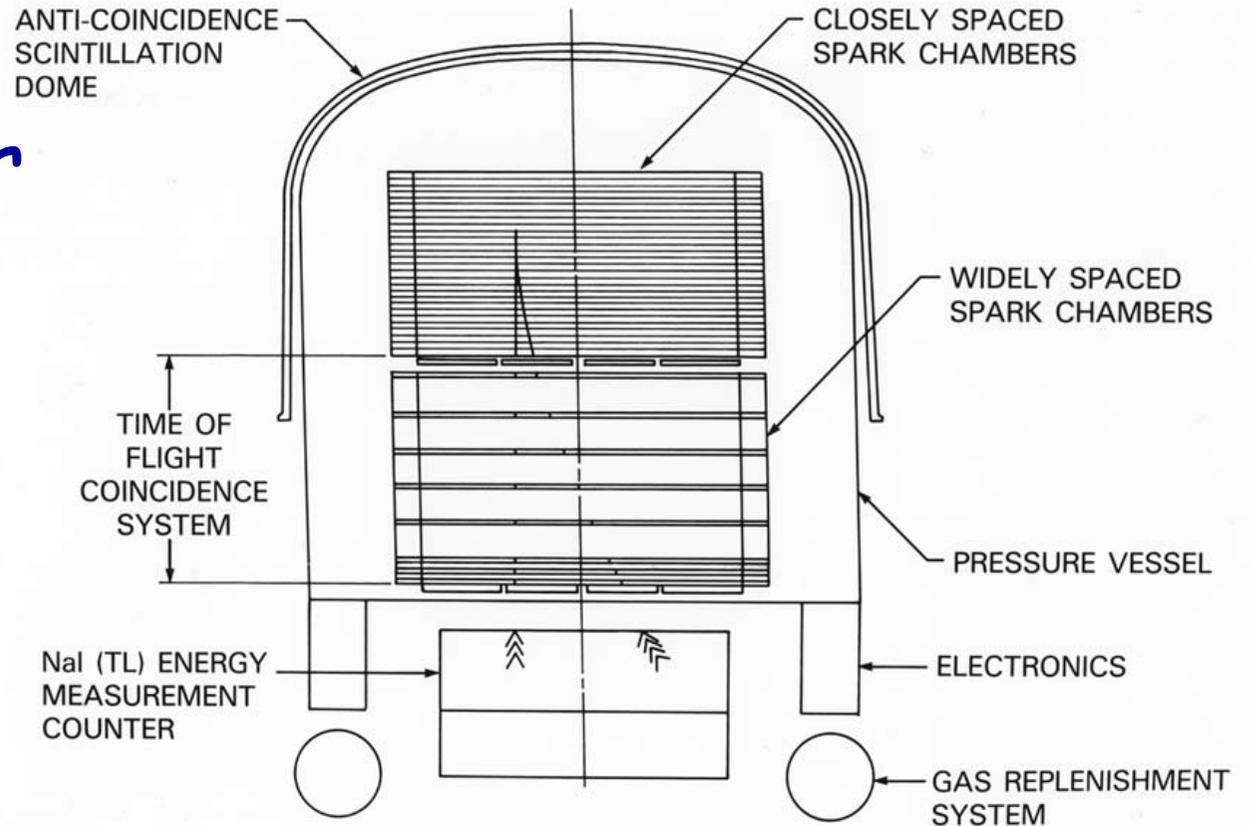
Energy Calorimeter

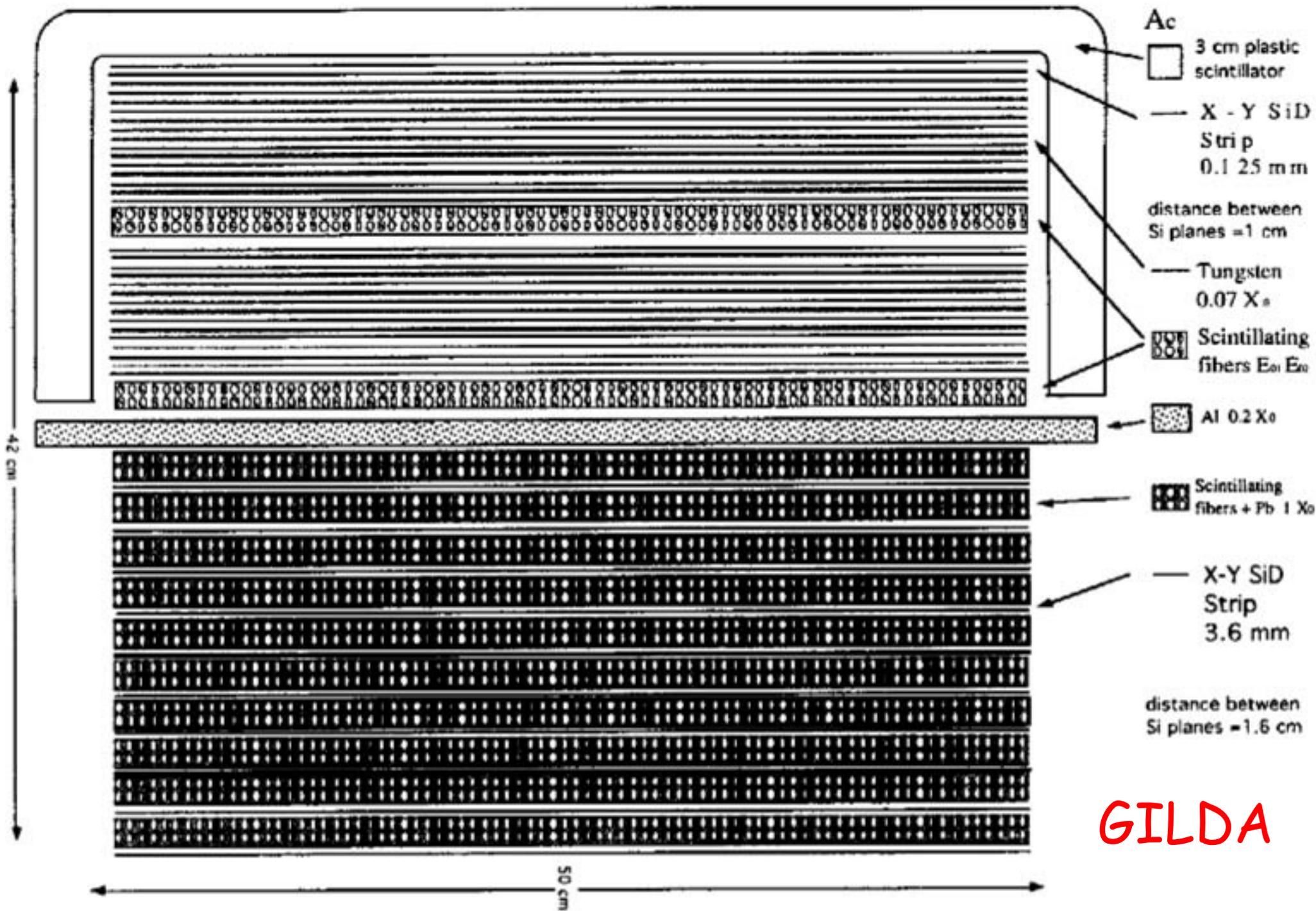


Cos-B  
8/1975-4/1982

# Le missioni per lo studio dei raggi gamma

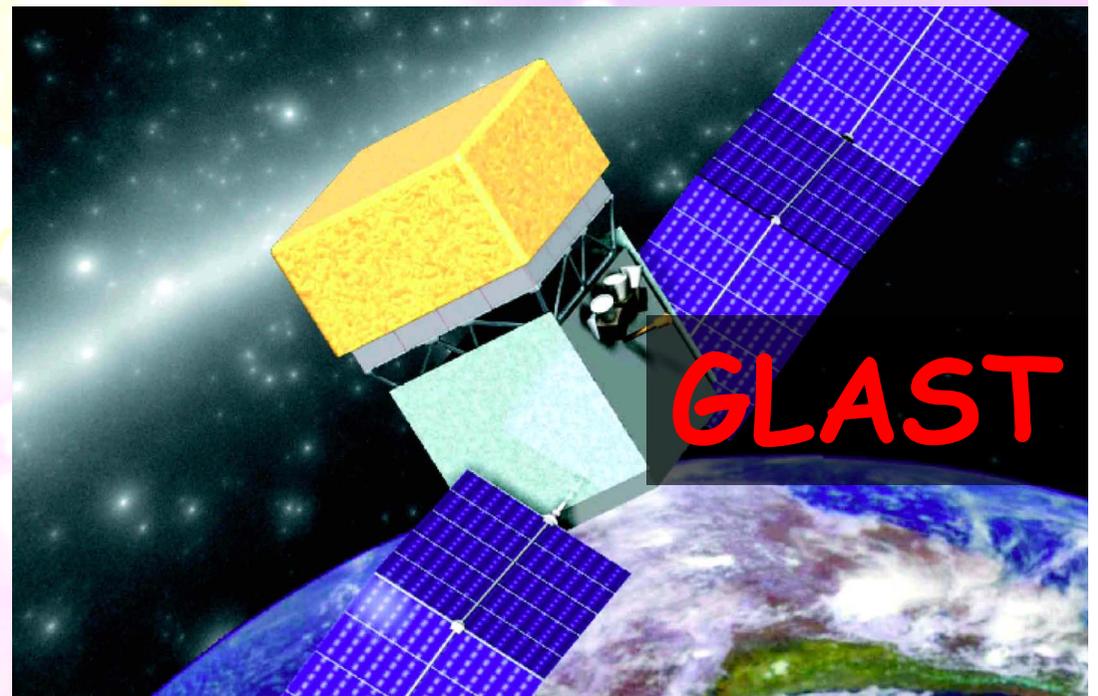
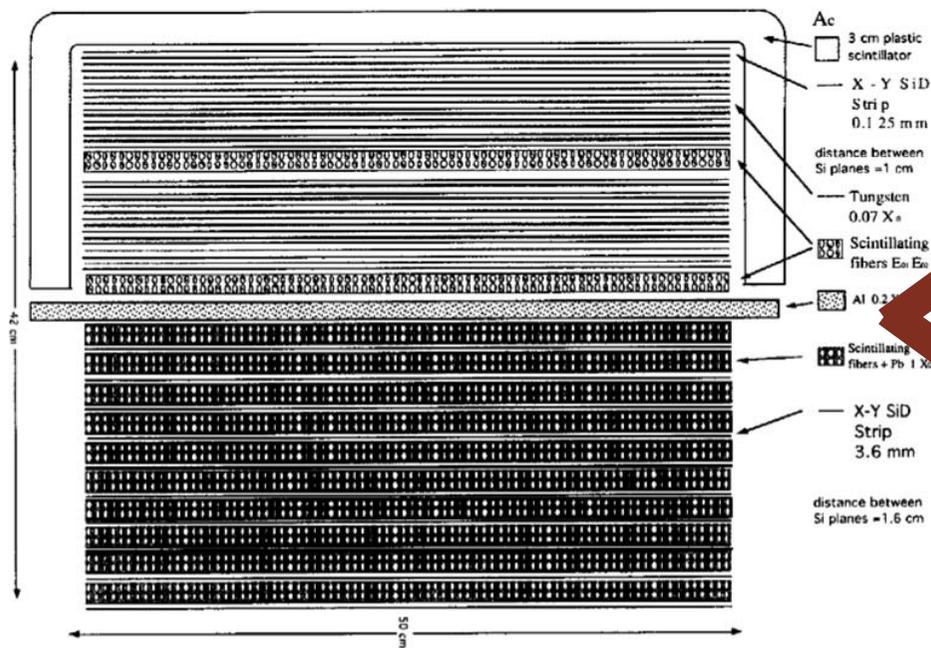
EGRET  
4/1991-1999



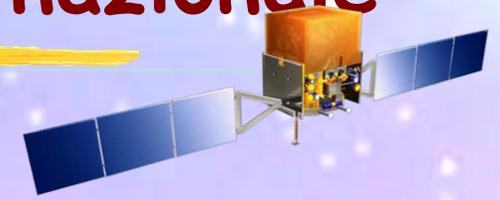


GILDA

# GILDA



# GLAST : 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 Nucléaire 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



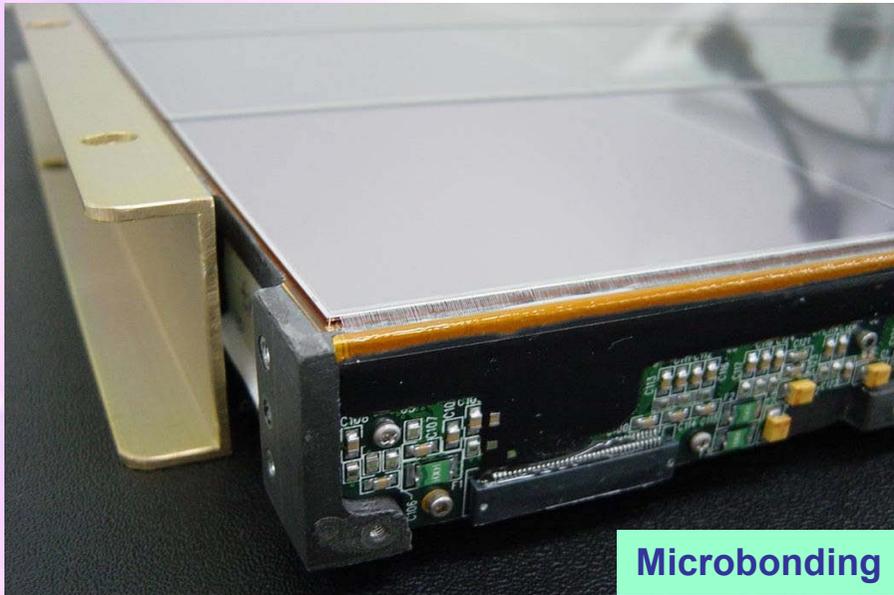
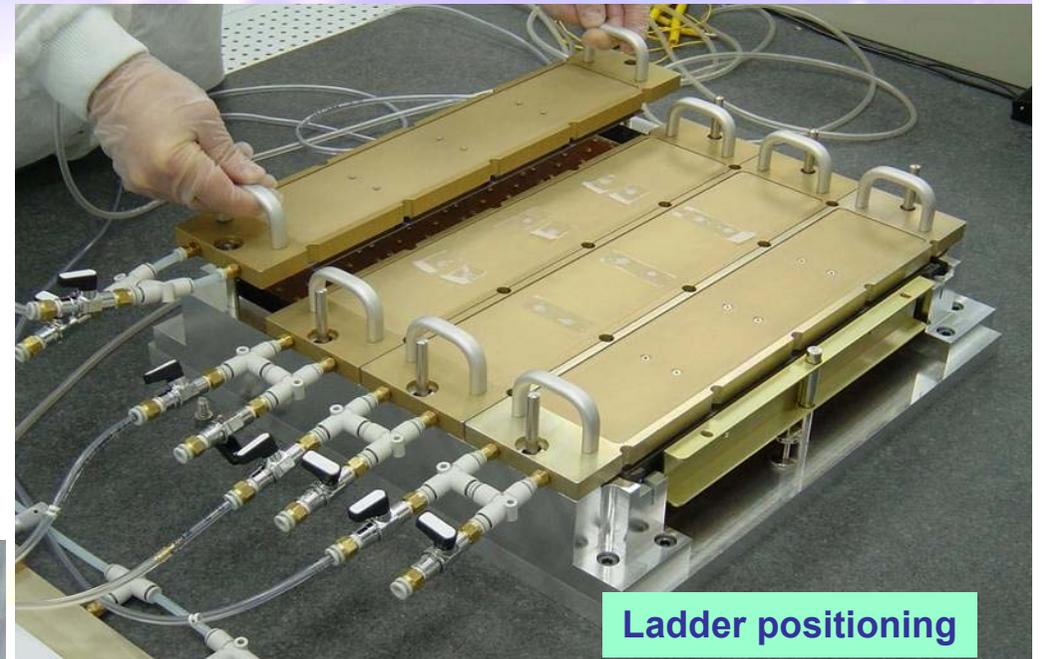
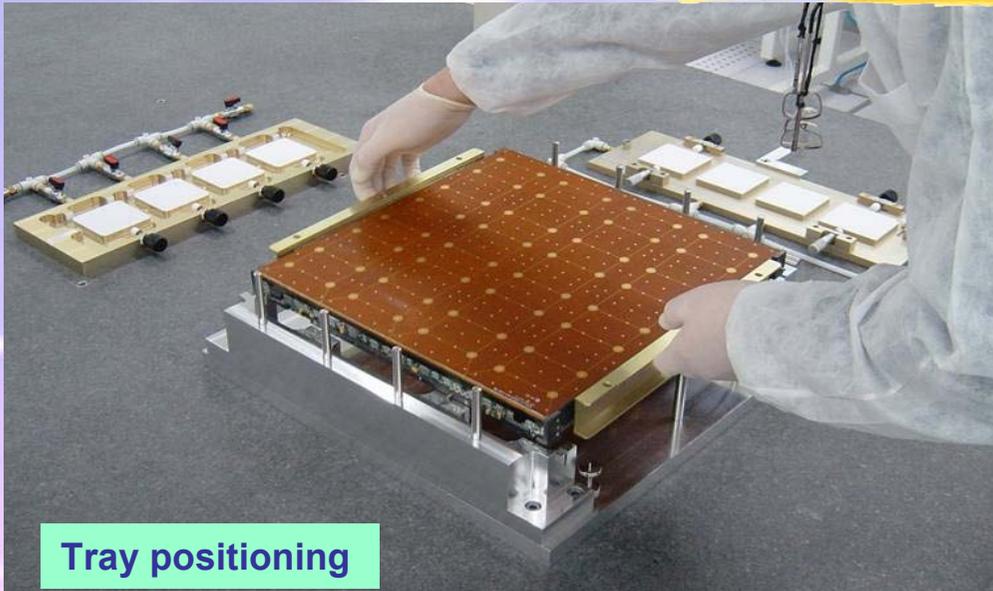
## Swedish Institutions

IN2P3/LPTA Laboratoire de Physique Theorique et Astroparticules, Montpellier  
 KTH Royal Institute of Technology  
 Stockholms Universitet



<b>Collaboration members:</b>	<b>~390</b>
<b>Members:</b>	<b>121</b>
<b>Affiliated Scientists</b>	<b>~96</b>
<b>Postdocs:</b>	<b>68</b>
<b>Graduate Students</b>	<b>105</b>

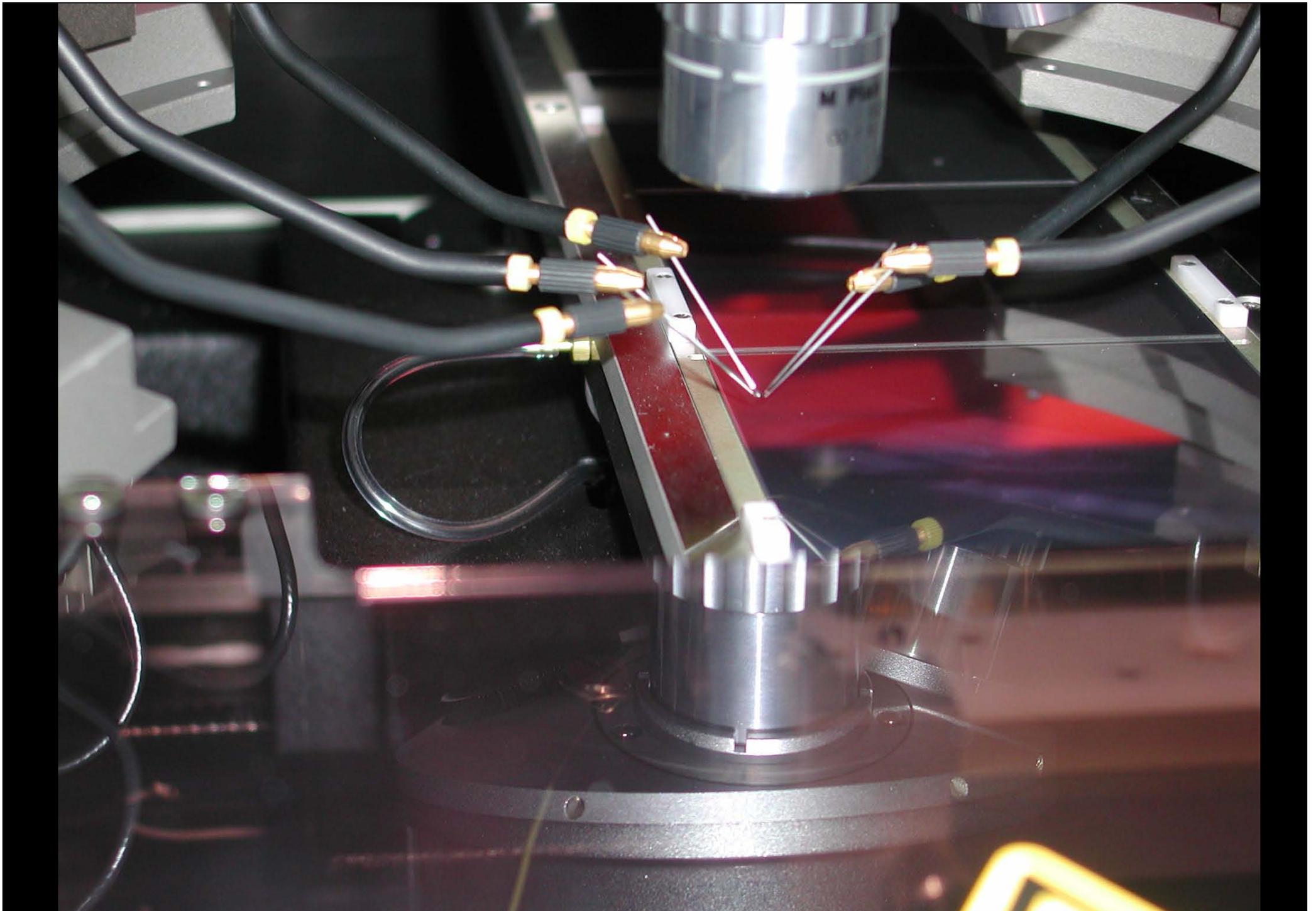
# Assemblaggio presso la G&A ad Oricola

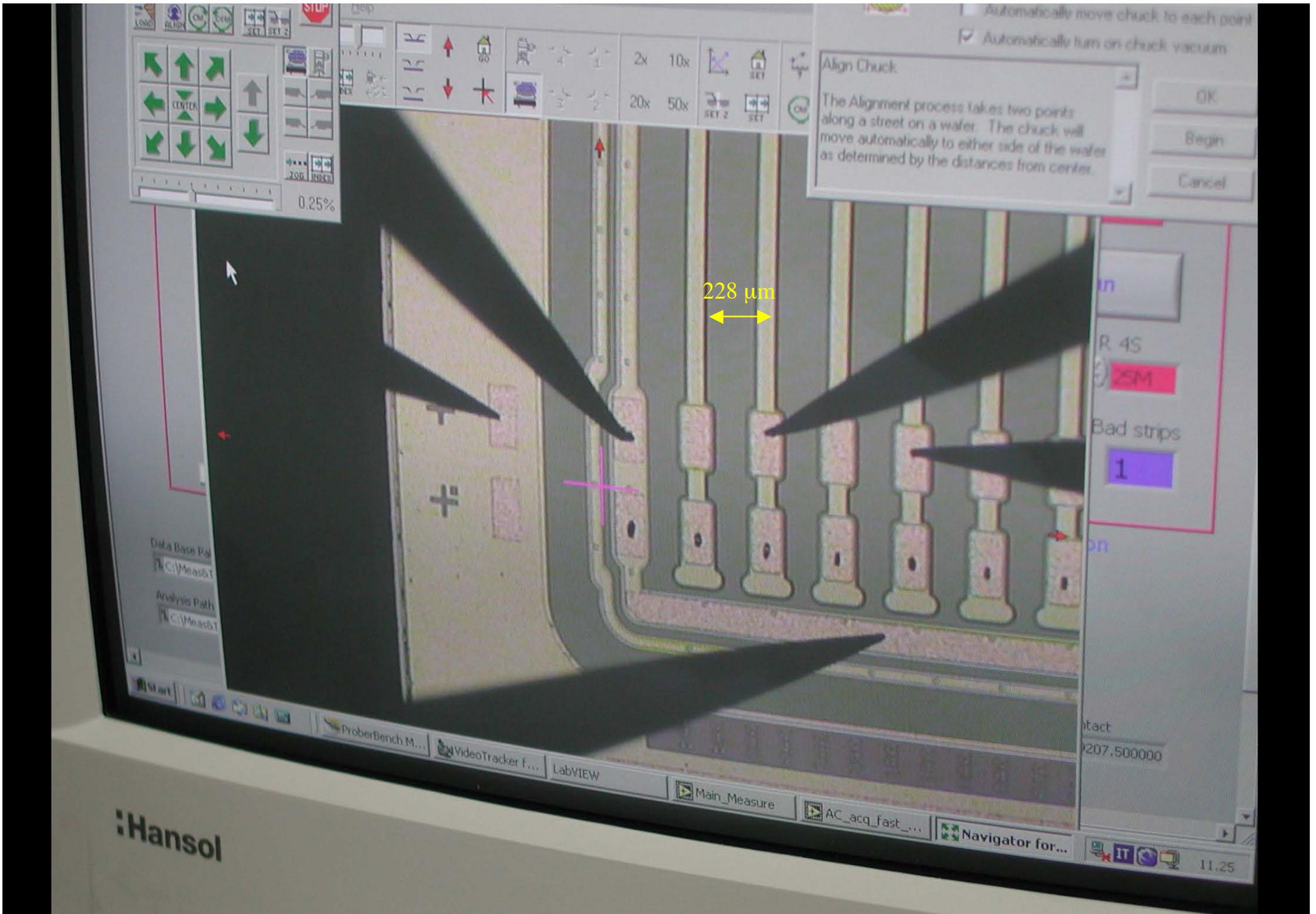


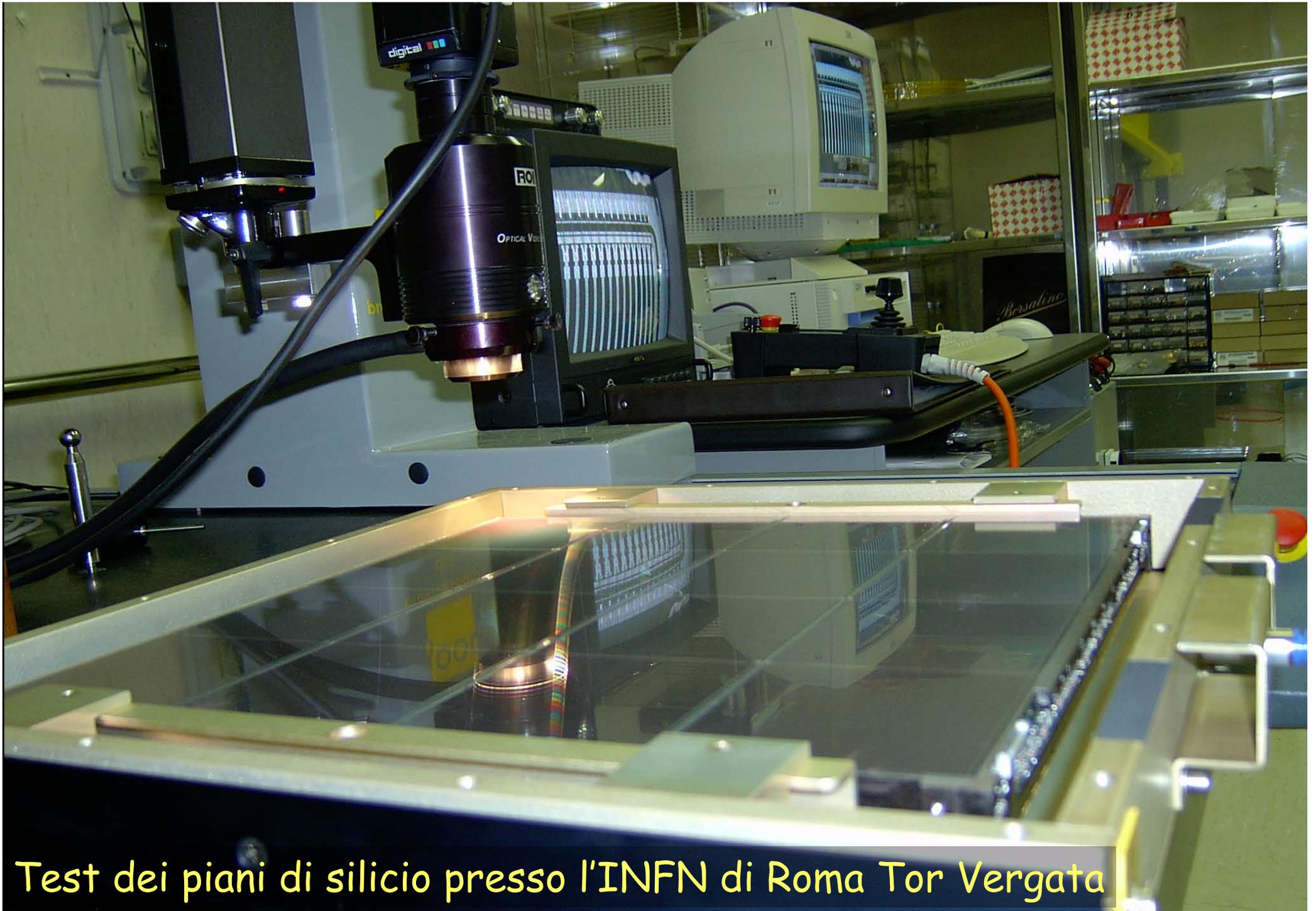






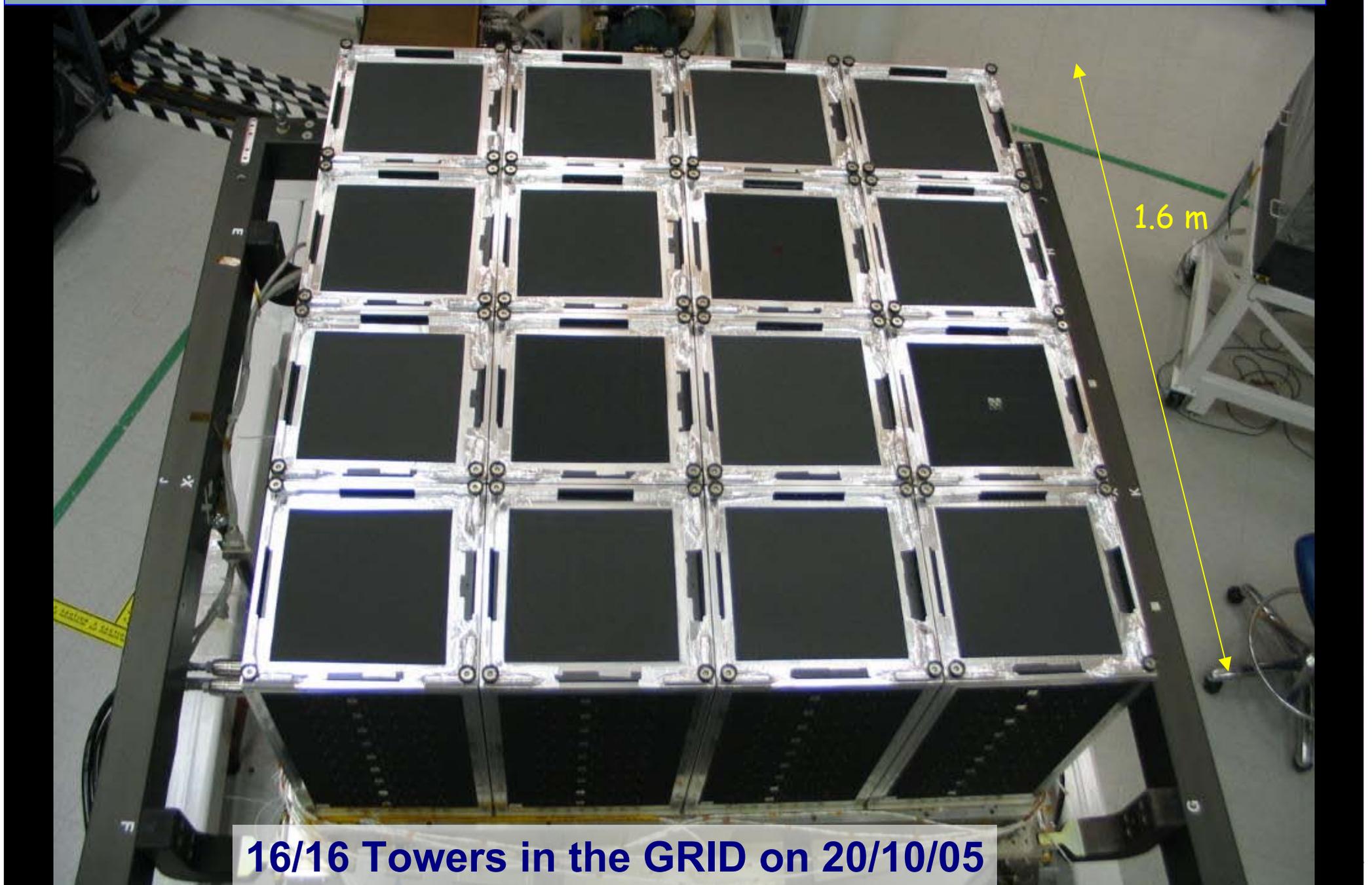




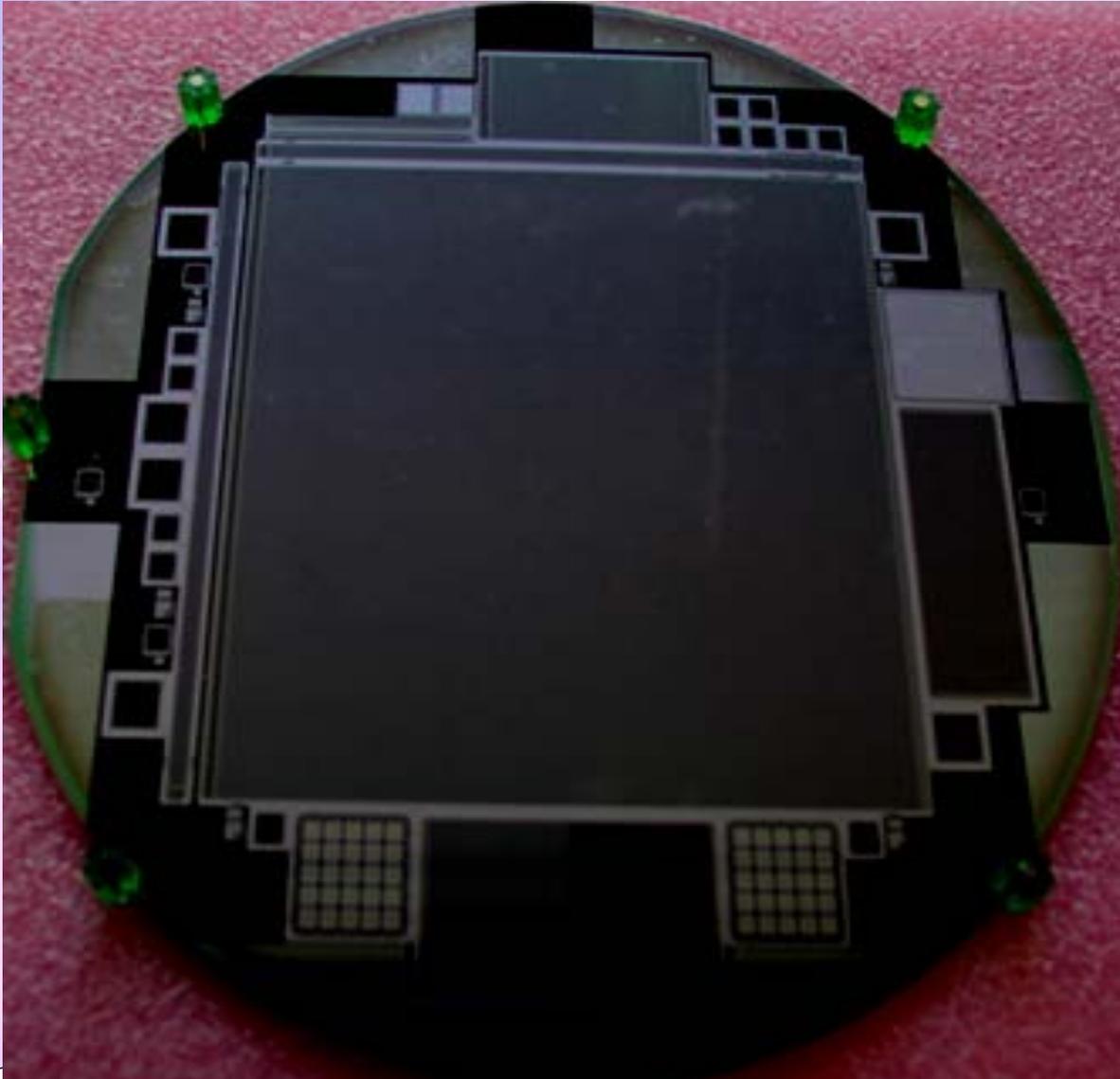


Test dei piani di silicio presso l'INFN di Roma Tor Vergata

# 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<sup>2</sup> superficie di  
Silicio**

**> 240K functional test  
recorded in DB  
~ 30M di test sulle**

# Celebrazione per la fine della costruzione del tracciatore



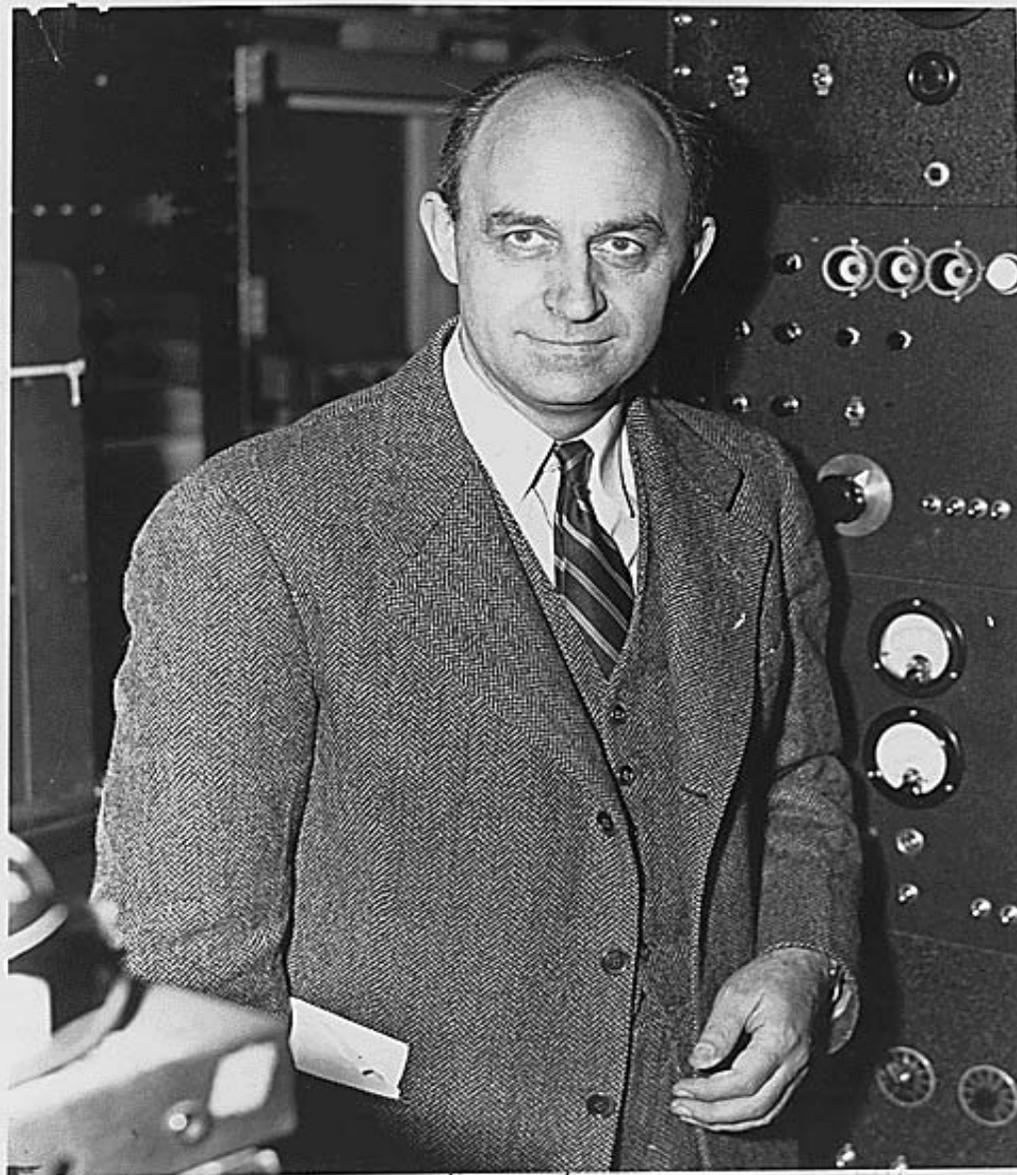
**INFN, ASI, SLAC, NASA, e partners  
industriali italiani**





# 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.

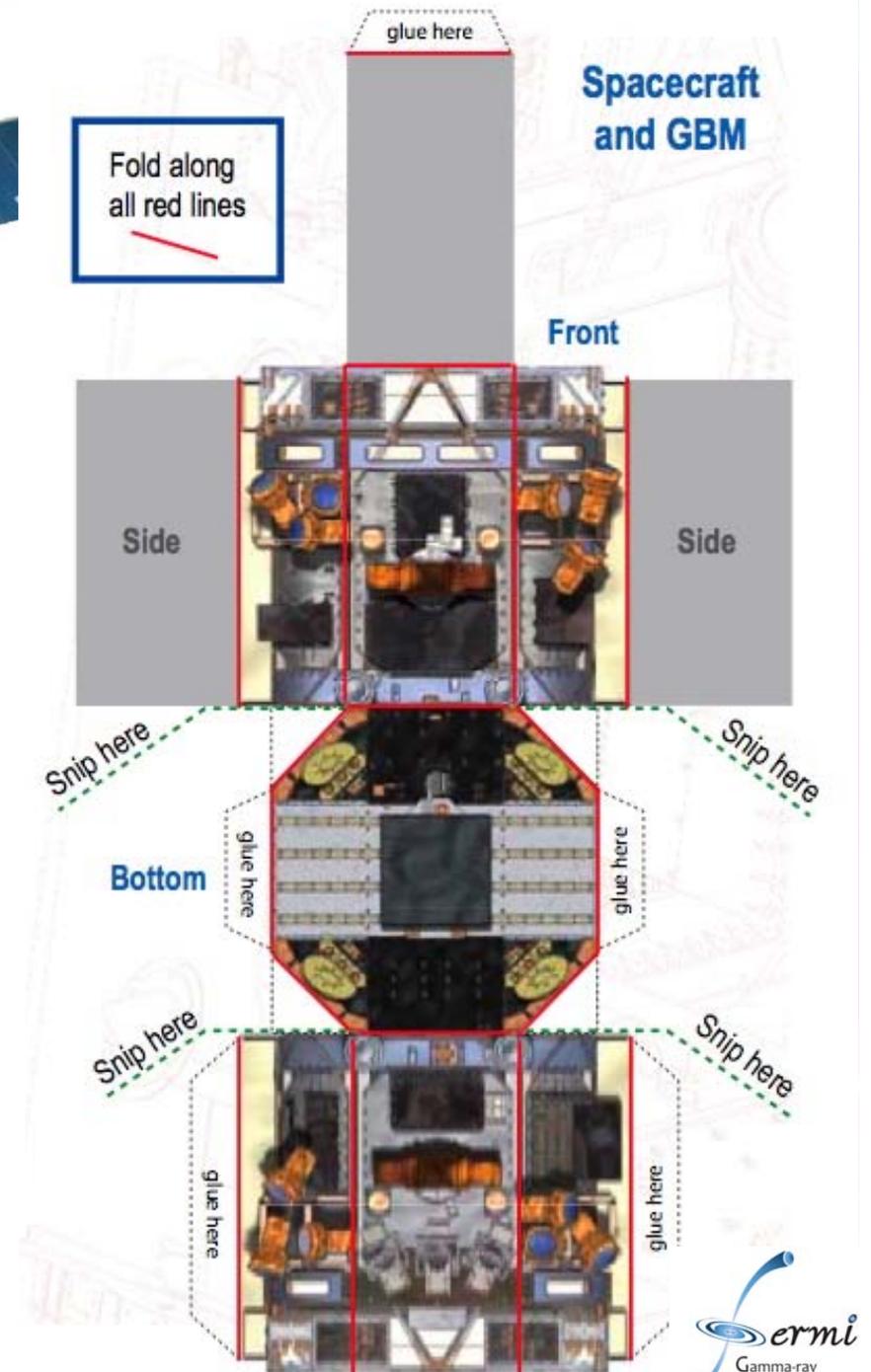
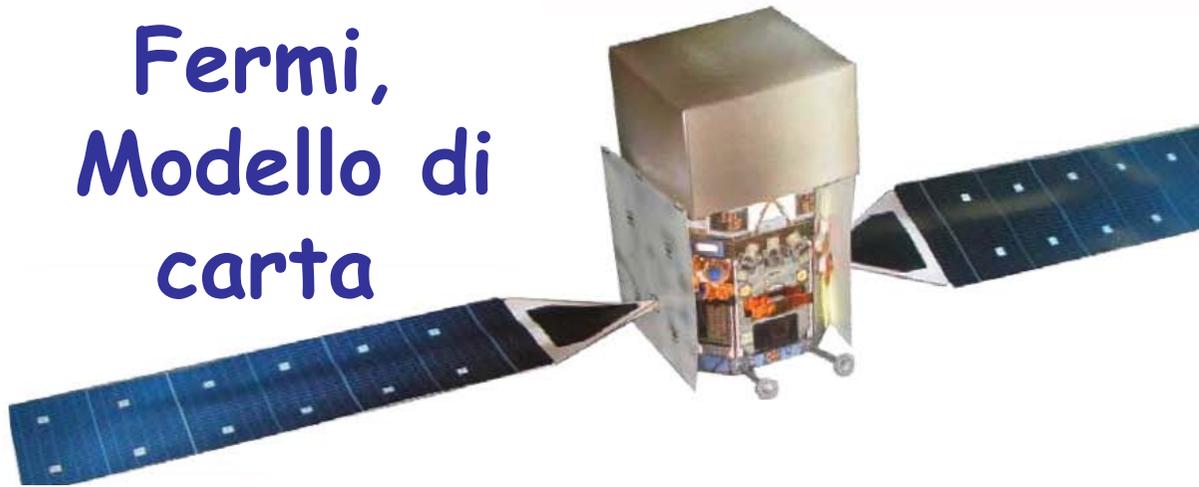
# Il Telescopio di raggi gamma Fermi



# 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



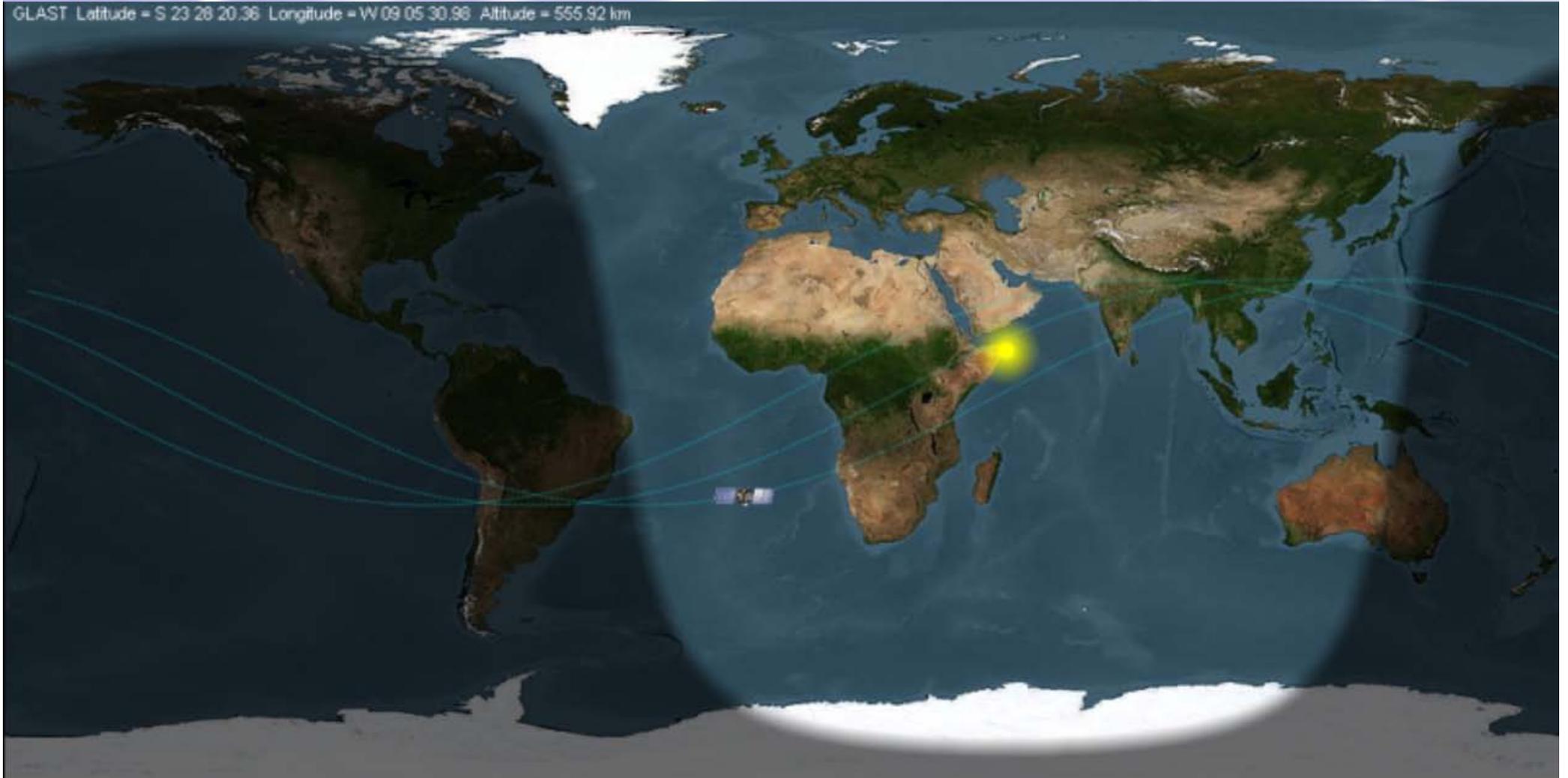
11 June 2008



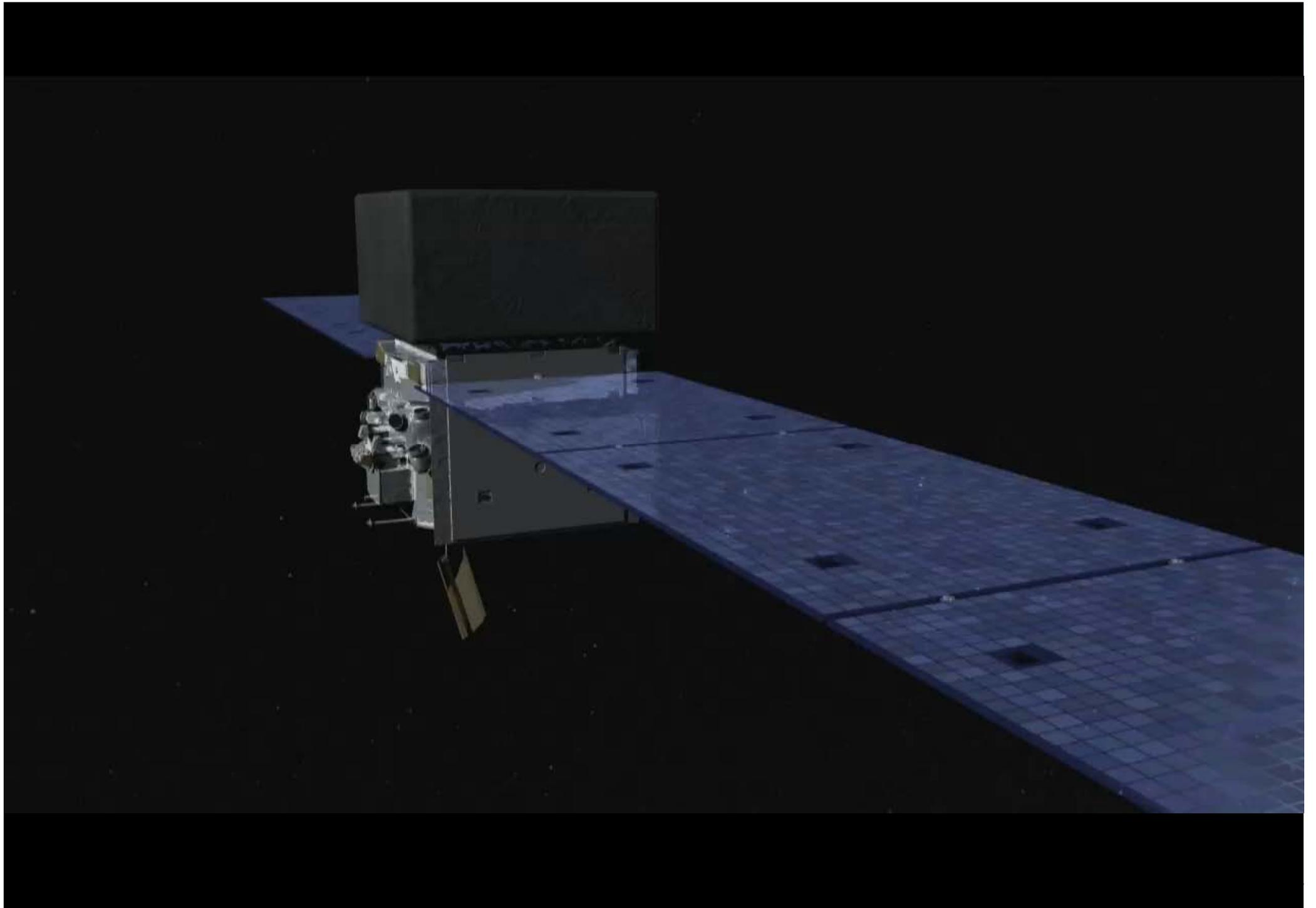
11 June 2008

# Fermi in orbita

GLAST Latitude = S 23 28 20.36 Longitude = W 09 05 30.96 Altitude = 555.92 km



- 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](http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/glast_online.html)



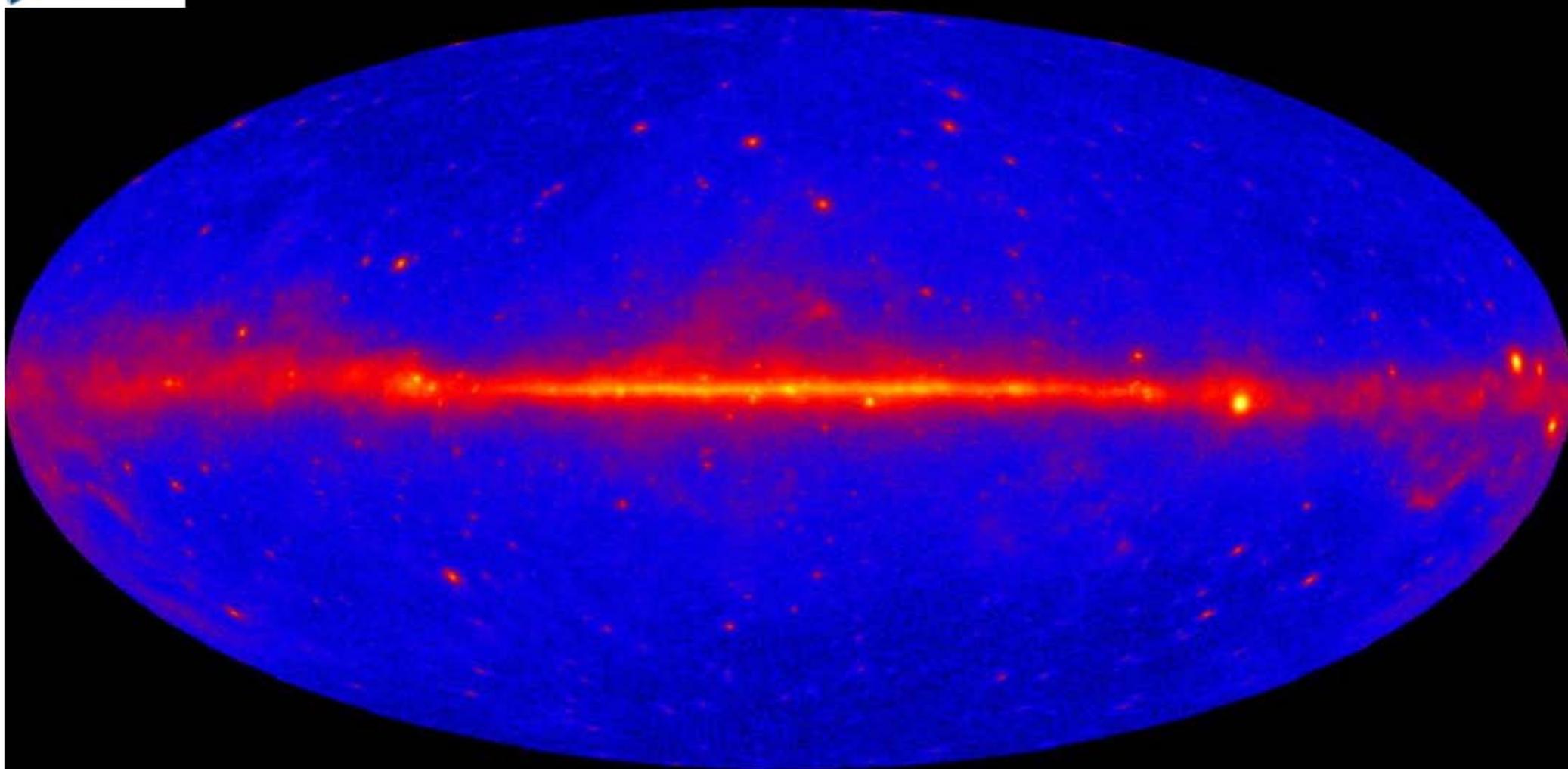
# Il Telescopio di raggi Gamma FERMI







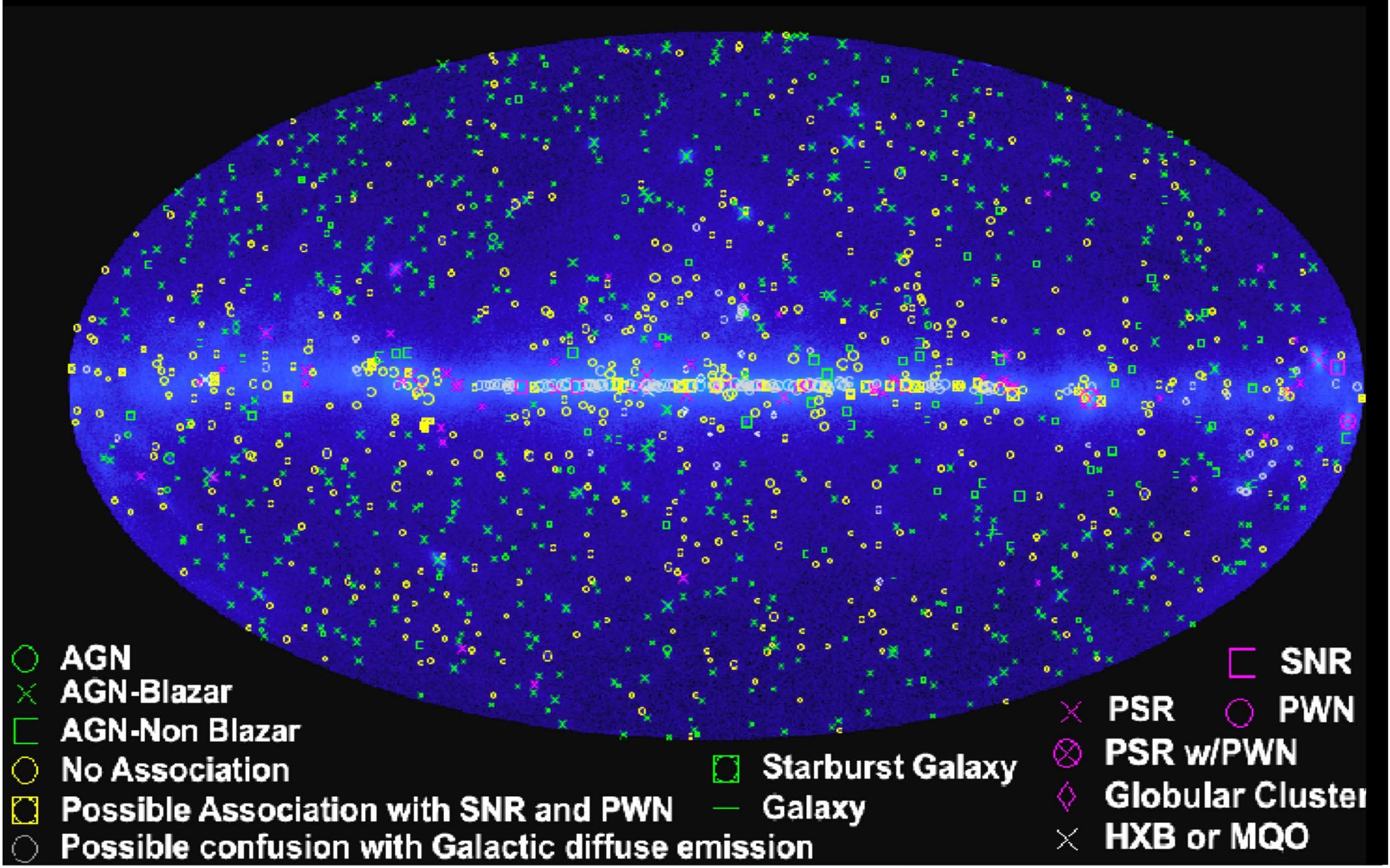
# Primo Catalogo delle sorgenti viste dal telescopio Fermi (11 mesi, 1451 sorgenti)



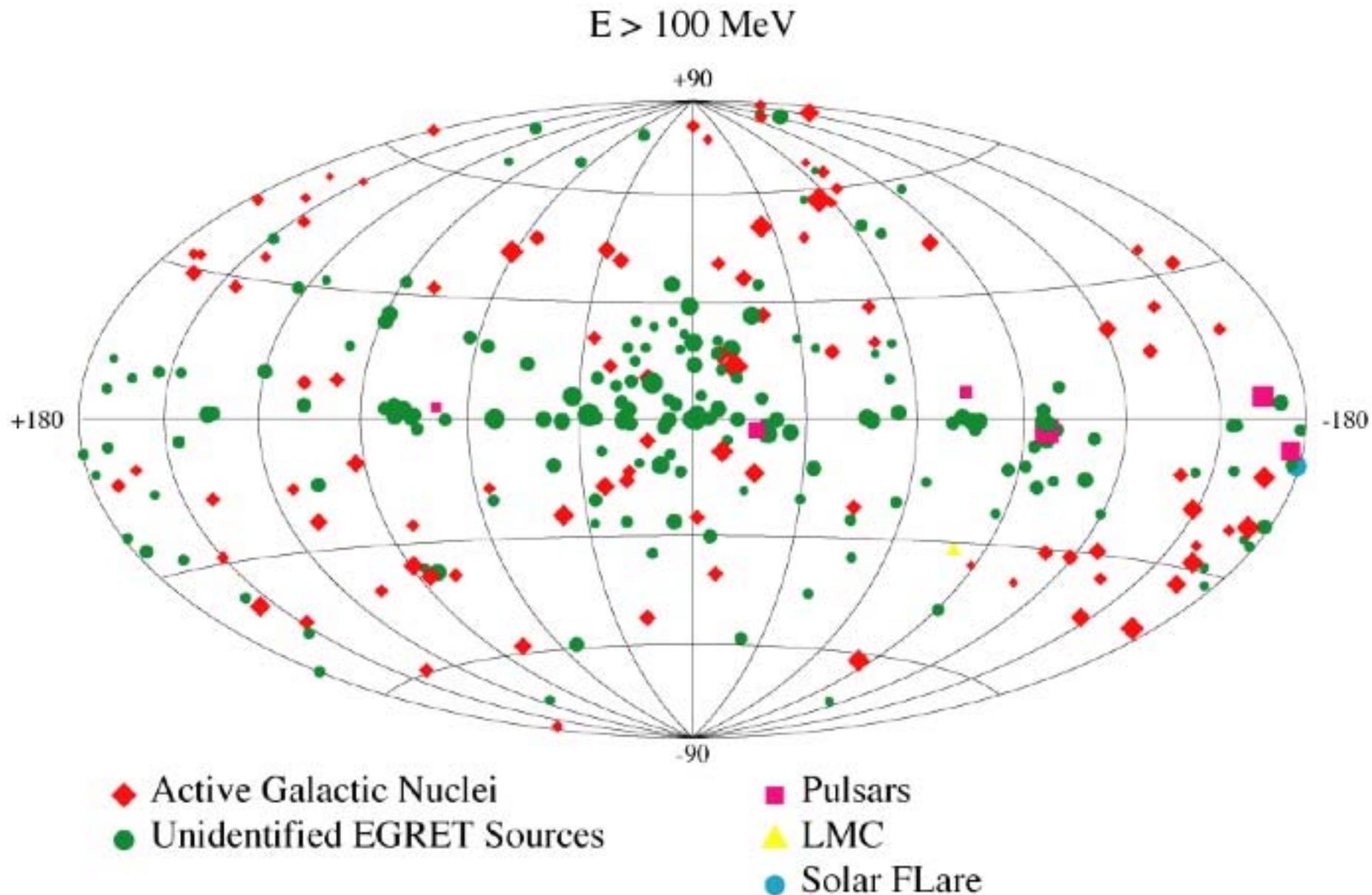
[http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/1yr\\_catalog/](http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/1yr_catalog/)

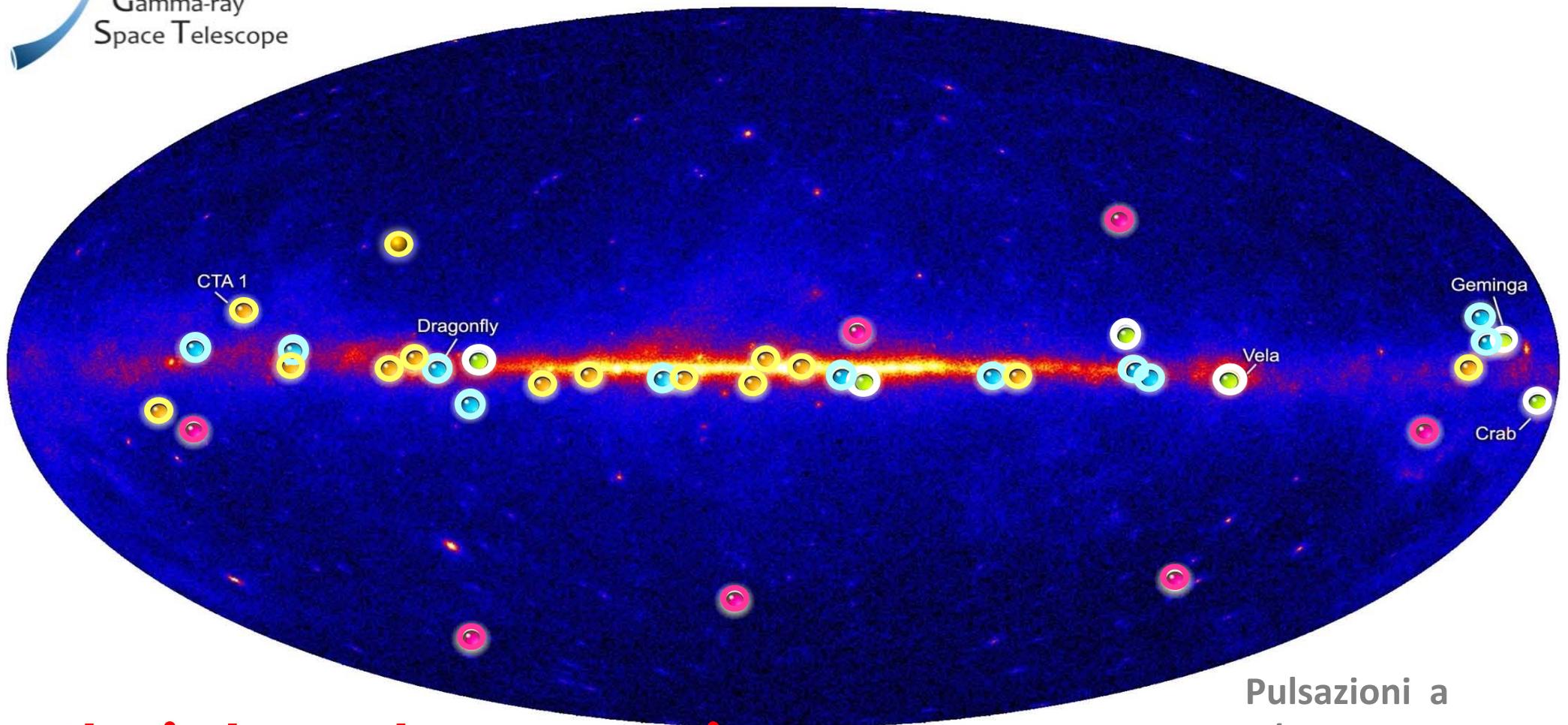
arXiv:1002.2280

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



da confrontare con il precedente esperimento EGRET ( 298 sorgenti )





## *Il cielo pulsante nei raggi gamma*

- New pulsars discovered in a blind search
- Millisecond radio pulsars
- Young radio pulsars
- Pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument

Pulsazioni a  
1/10 della  
frequenza reale

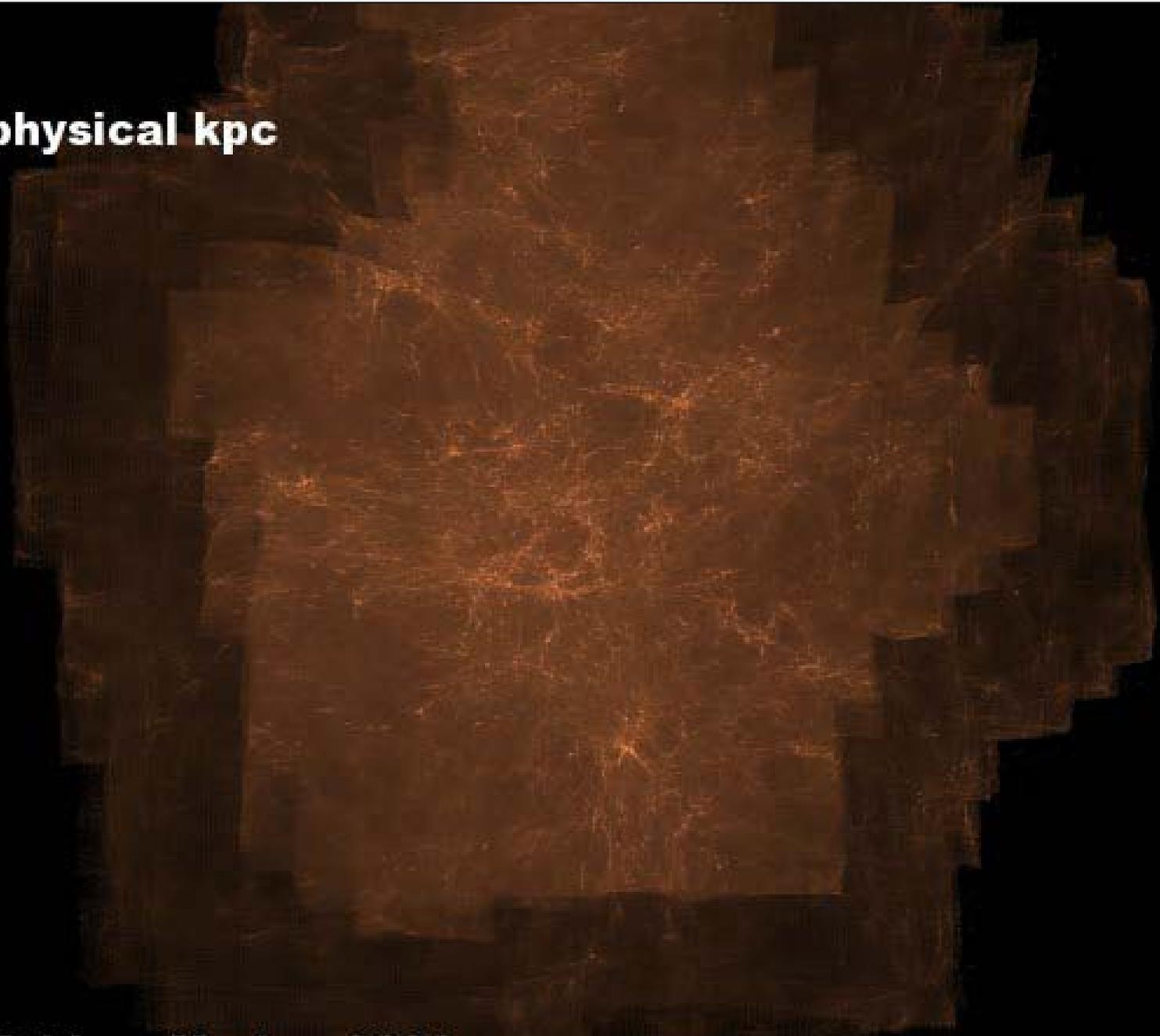
# Distribuzione della materia oscura secondo le simulazioni



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

**$z=11.9$**

**800 x 600 physical kpc**



**Diemand, Kuhlen, Madau 2006**

*Simulazione in funzione del tempo*

# .. ma anche in molti altri segnali

## Satelliti:

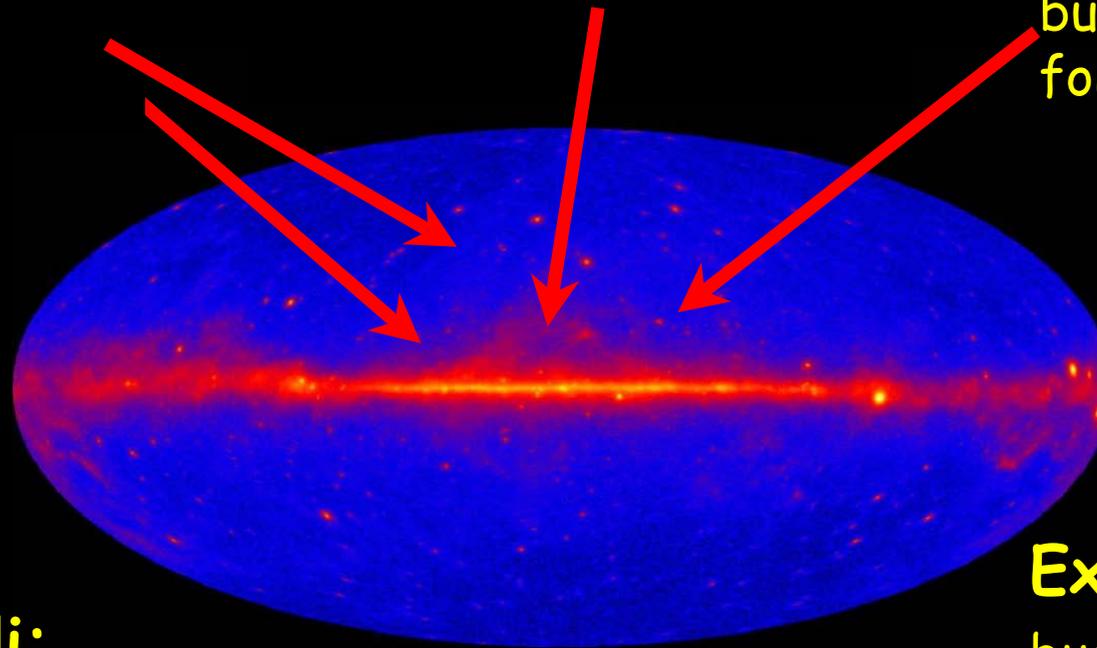
basso fondo ma  
statistica bassa

## Galactic center:

statistica buona ma fondo  
elevato

## Alone della Via Lattea:

buona statistica ma  
fondo elevato



+ Spettro  
di elettroni  
e

Anisotropie

## Extra-galattico:

buona statistica ma  
fondo elevato a causa  
di sorgenti astrofisiche  
e del fondo galattico  
diffuso

## Linee spettrali:

nessuna incertezza  
astrofisica ma  
statistica bassa

## cluster di galassie:

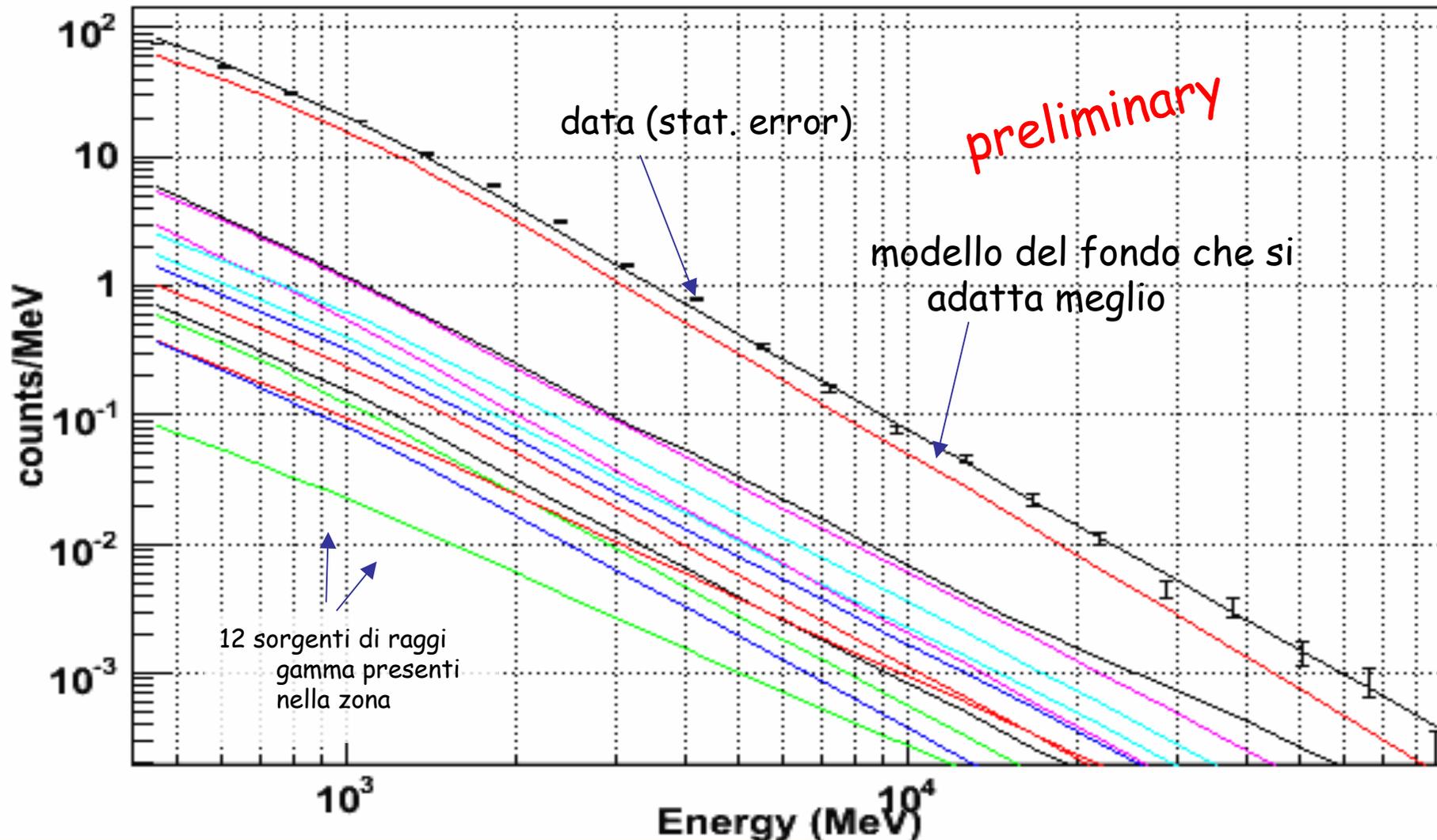
basso fondo ma  
statistica bassa



Pre-launch sensitivities published in Baltz et al., 2008, JCAP 0807:013 [astro-ph/0806.2911]

# Spettro Energetico dei fotoni dal centro galattico

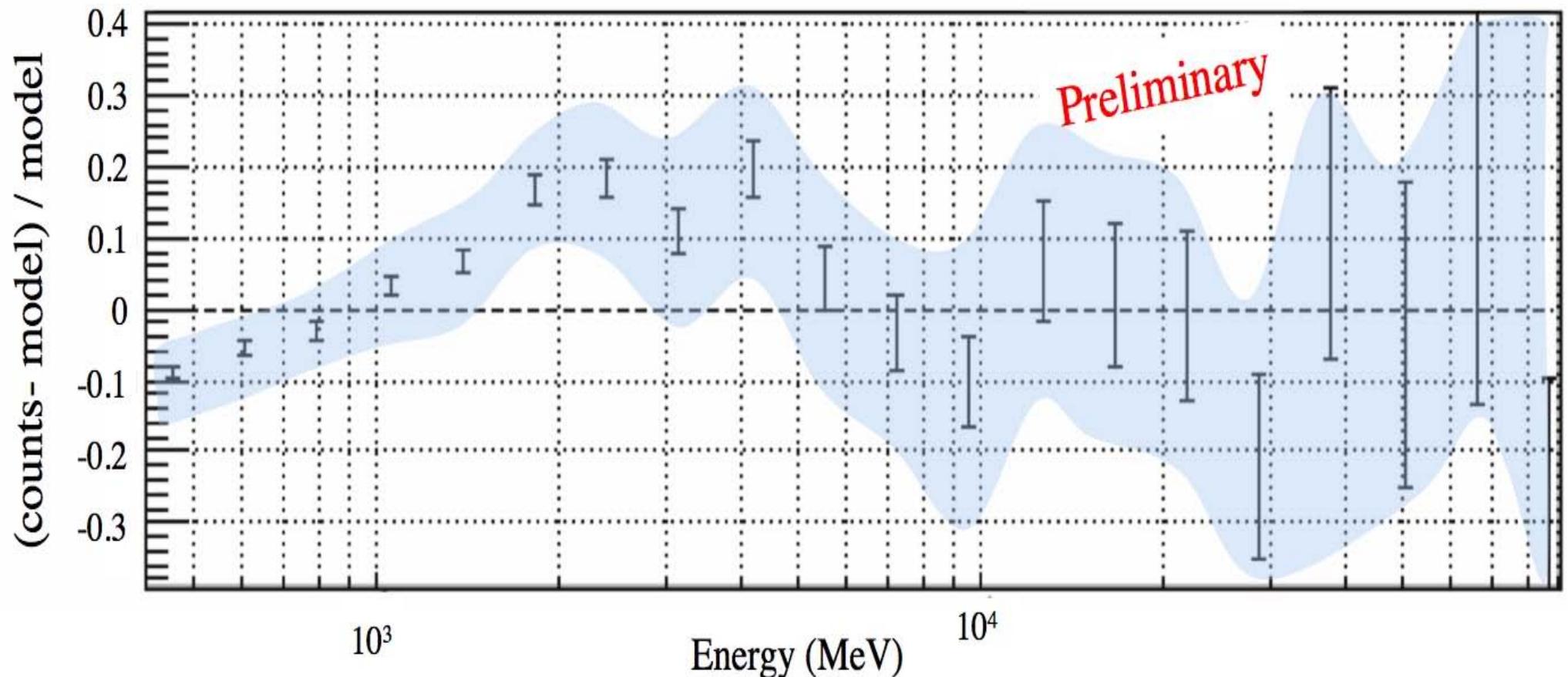
(regione di  $7^\circ \times 7^\circ$  centrata nel Centro Galattico,  
11 mesi di dati,  $E > 400 \text{ MeV}$  )



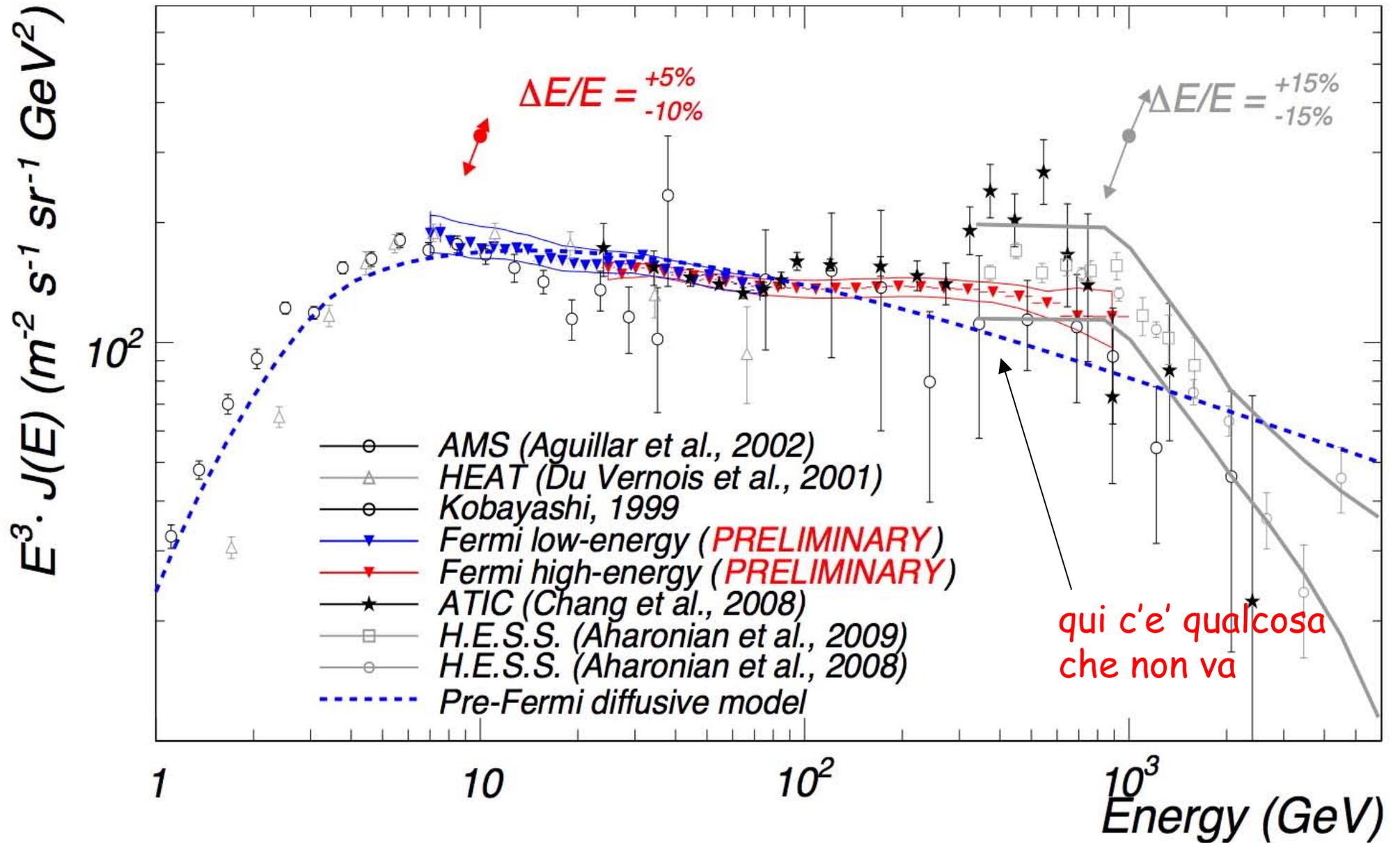
# Residui dei fotoni dal centro galattico ( dati - modello )

regione di  $7^\circ \times 7^\circ$  centrata nel Centro Galattico, 11 mesi di dati,  $E > 400$  MeV )

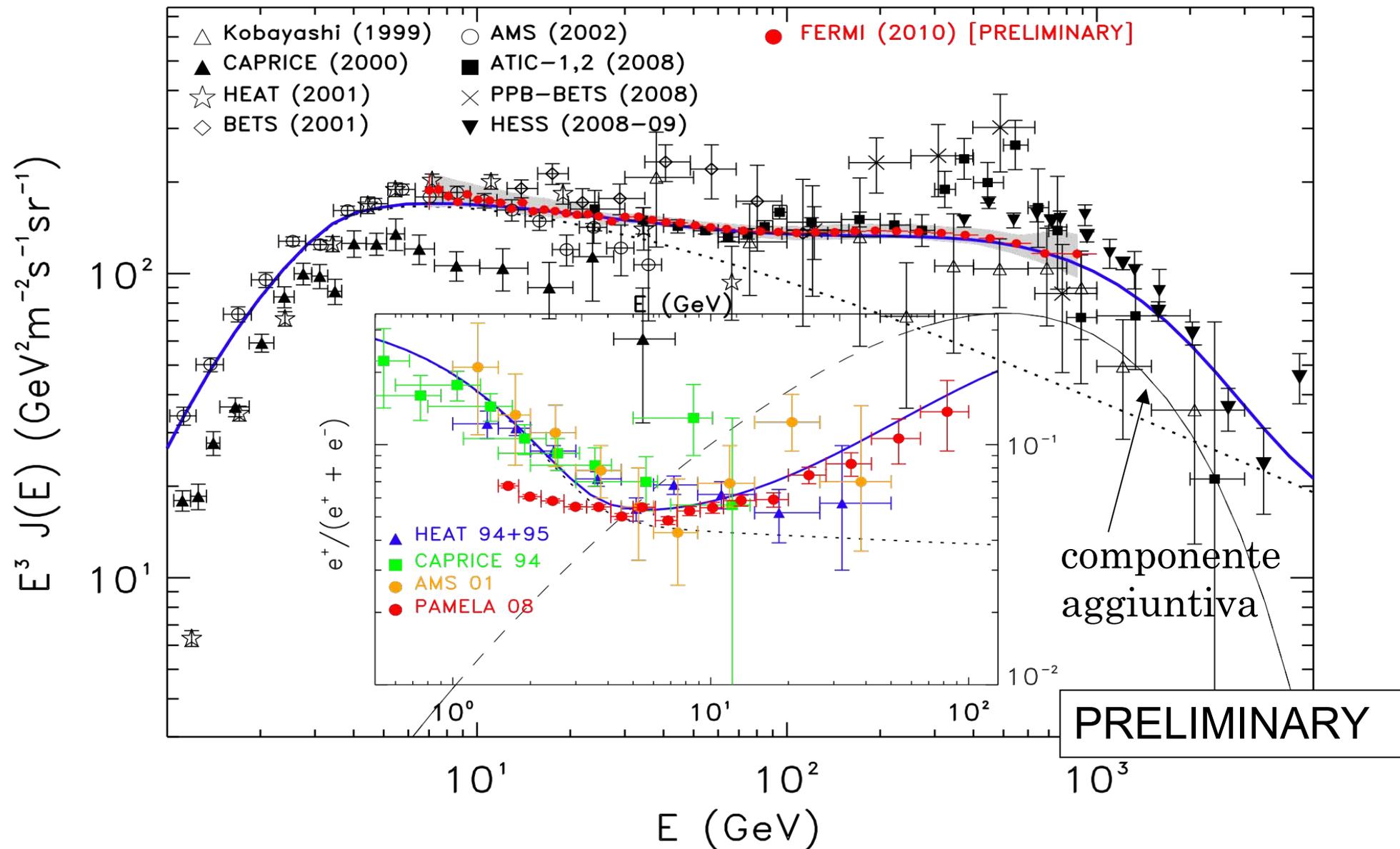
- Incertezza sistematica  $\sim 10\%$  at 100 MeV e  $20\%$  at 10 GeV



# Spettro di Elettroni + Positroni misurato dal telescopio Fermi



# Una componente in più è necessaria per spiegare i dati di Fermi e Pamela



potrebbe essere un segnale dalla  
materia oscura ?

forse.

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

.. tanti diversi  
apparati , ma  
stesso scopo

Sorgente

Creazione e  
accelerazione

Propagazione

Modulazione

I raggi cosmici  
viaggiano per  
circa 10 milioni  
di anni nella  
nostra galassia  
prima di arrivare  
a noi

Raggi cosmici

$\gamma$

$\nu$

Esperimenti spaziali a circa 400 km di altezza

Rivelazione diretta

Atmosfera  
40 km

Balloons ~ 40 km  
~3 g/cm<sup>2</sup> residual atmosphere

Rivelatori di sciami  
estesi

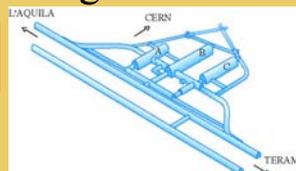
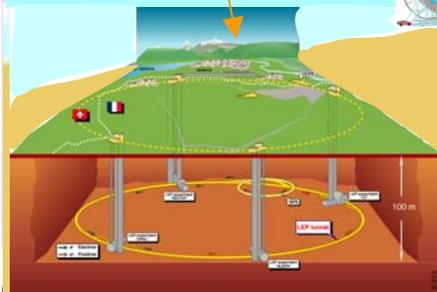
Esperimenti di  
Fisica delle  
Astroparticelle

Rivelatori in alta montagna

Rivelatori Cherenkov

Acceleratori di  
particelle

Esperimenti sottoterra, sotto il ghiaccio,  
sotto l'acqua



# a cosa serve la ricerca fondamentale ?



...ogni volta che si usa INTERNET si sta usando un'invenzione nata dall'esigenza dei fisici al CERN di scambiare rapidamente e liberamente informazioni



acceleratori di protoni si stanno già usando per la cura dei tumori

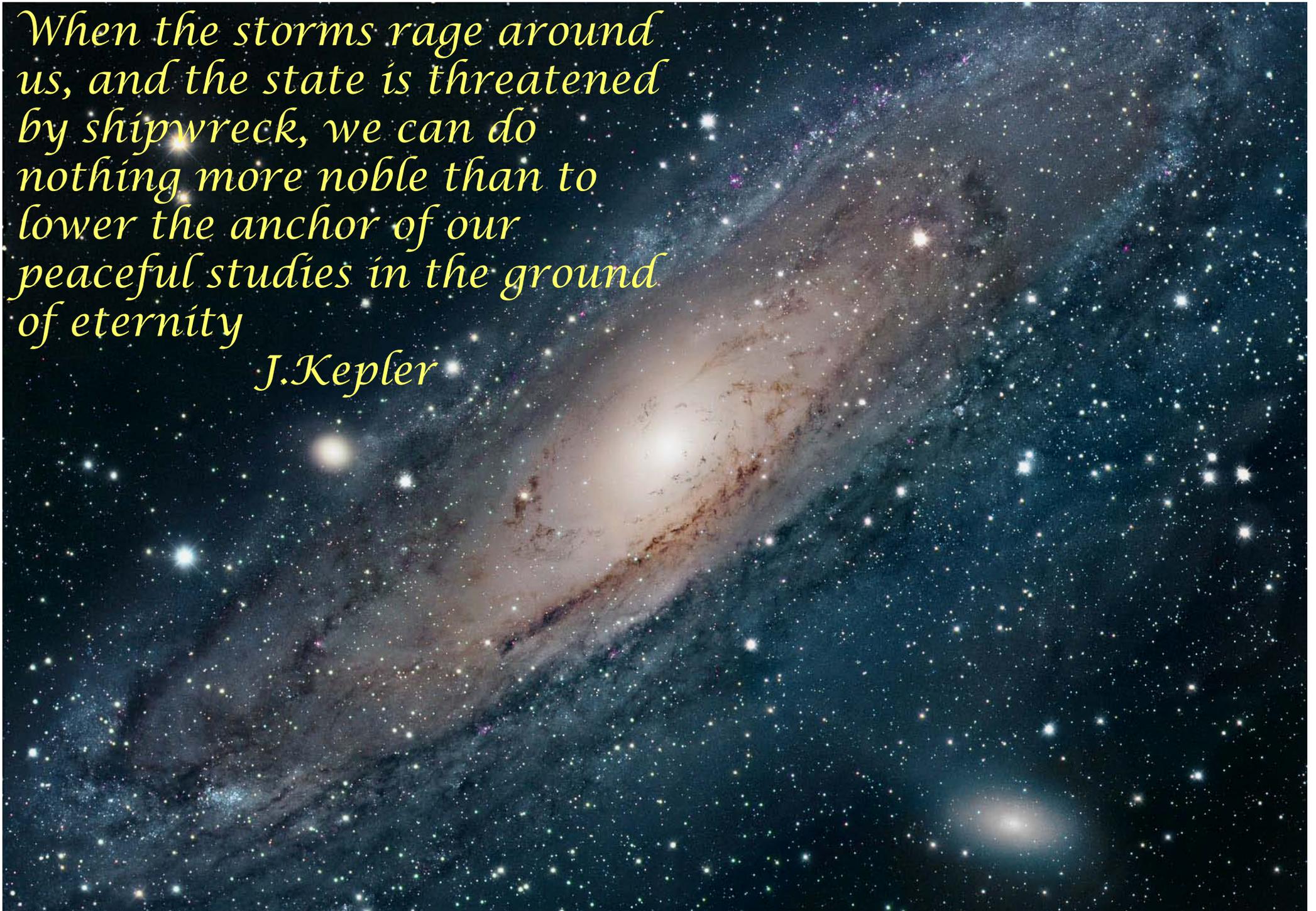


...ogni volta che si entra in un ospedale per una TAC o una risonanza magnetica si usano tecnologie sviluppate grazie alle ricerche di fisica delle particelle

quando **Thomson** nel 1897 scoprì gli elettroni, un ministro gli chiese a cosa servissero. Lui rispose che ancora non lo sapeva ma che era sicuro che prima poi il governo ci avrebbe messo una tassa sopra

*When the storms rage around  
us, and the state is threatened  
by shipwreck, we can do  
nothing more noble than to  
lower the anchor of our  
peaceful studies in the ground  
of eternity*

*J. Kepler*





*Le nostre conoscenze sono finite e l'ignoto e' infinito; ci troviamo su un'isoletta di sapere nel mezzo di un oceano illimitato ancora inesplicabile. Il compito di ogni nostra generazione e' di rivendicare un po' piu' terreno. T. H. Huxley, 1887*

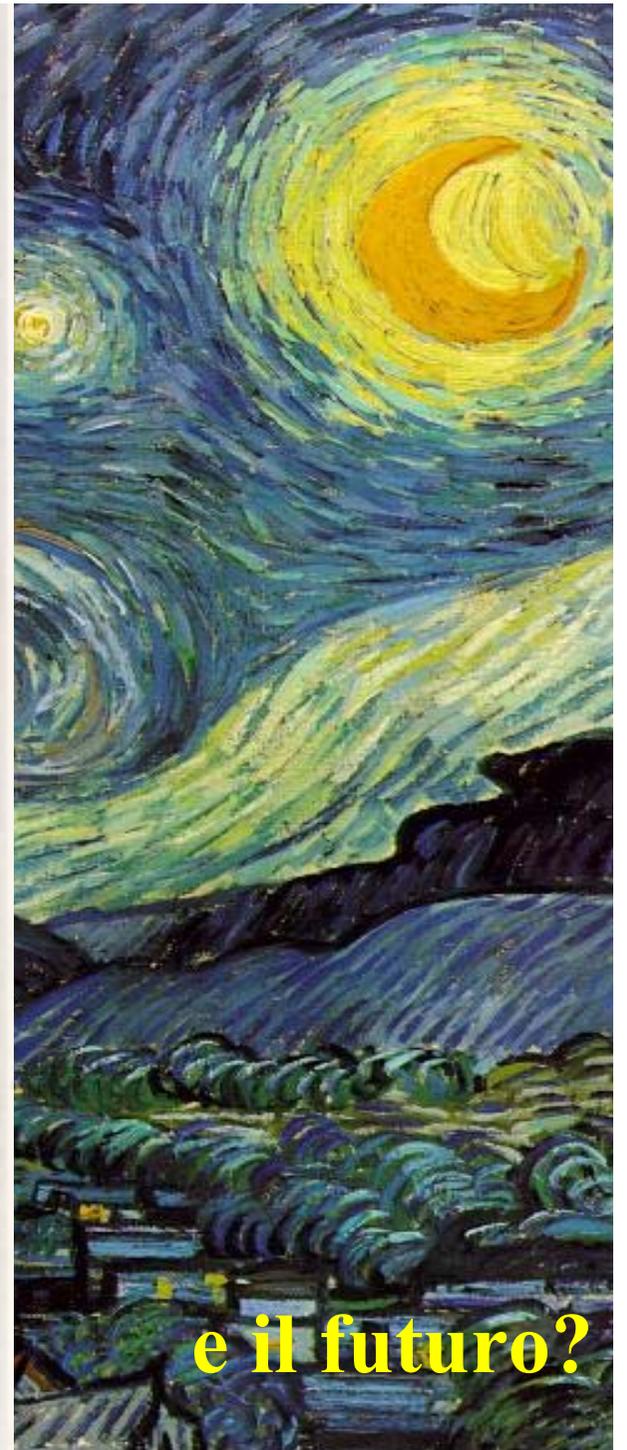
*if the doors of perception  
were cleansed everything  
would appear as it is,  
infinite*

*(se le porte della percezione fossero  
aperte, ogni cosa apparirebbe  
come è, infinita)*

*(W. Blake)*



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?



11 June 2008



11 June 2008