INFN

Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

La fisica sperimentale nella spazio
Le astroparticelle

Matteo Duranti e Filippo Ambroglini

Università degli Studi di Perugia,
Dipartimento di Fisica e Geologia
INFN Sez. Perugia

DIPARTIMENTO DI
FISICA E GEOLOGIA

Università degli Studi di
Perugia, Italia

Sommario

1. Cenni di Fisica dei Raggi Cosmici (CRs) carichi e fotoni di alta energia (γ)

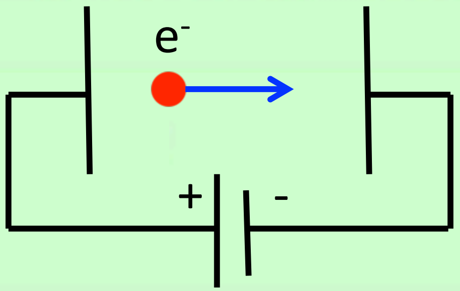
2. Rivelazione dei CRs

3. Gli esperimenti a Perugia: Fermi, AMS e DAMPE

Nozioni propedeutiche

(energia acquisita da un elettrone su 1 Volt)

Energia delle particelle – unità di misura: eV



KeV = 10^3 eV ; MeV = 10^6 eV ; GeV = 10^9 eV ….

Impulso p : si misura in eV/c (e suoi multipli)
massa a riposo m_o: si misura in eV/c^2

MA SPESSO : $\hbar = c = 1$

Unita' di massa (m) e di impulso (p)= eV

$$E^2 - p^2 = m^2$$

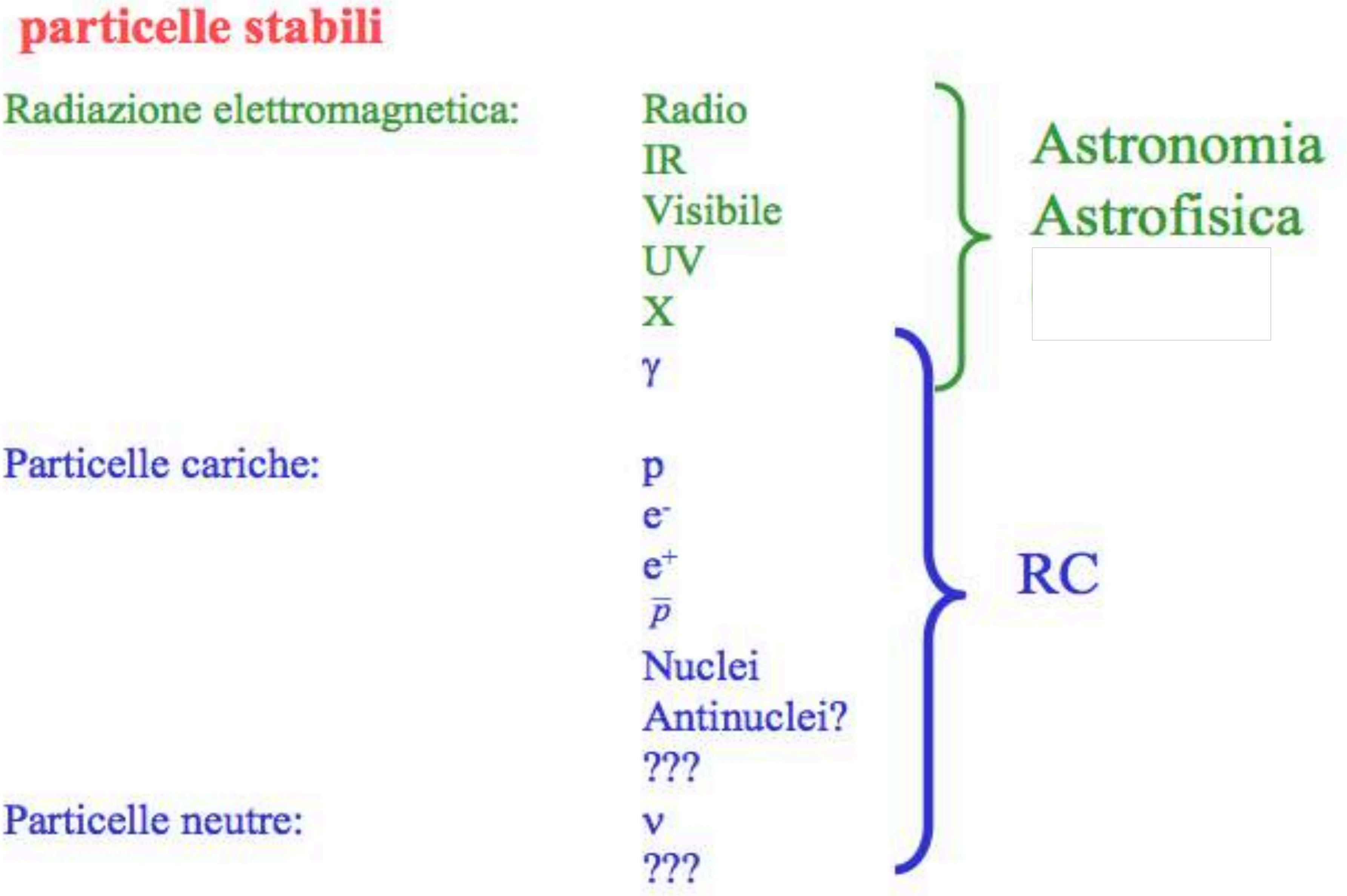
massa a riposo protone ~ 1 GeV , massa elettrone = 511 KeV

$\beta = v/c$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{E}{m}$$

I Raggi Cosmici (Cosmic Rays)

Cosa sono i CR?



particelle stabili

Radiazione elettromagnetica: Radio, IR, Visibile, UV, X, γ

Particelle cariche: p, e^-, e^+, $\bar{p}$, Nuclei, Antinuclei?, ???

Particelle neutre: ν, ???

Radio, IR, Visibile, UV, X, γ → Astronomia Astrofisica

γ, p, e^-, e^+, $\bar{p}$, Nuclei, Antinuclei?, ???, ν, ??? → RC

Cosa sono i CR?

Una delle armi di Goldrake

chiamati anche “disintegratori paralleli”

Encirobot.com - © Toei Doga, Dynamic

La Terra è “bombardata” costantemente da un flusso di particelle

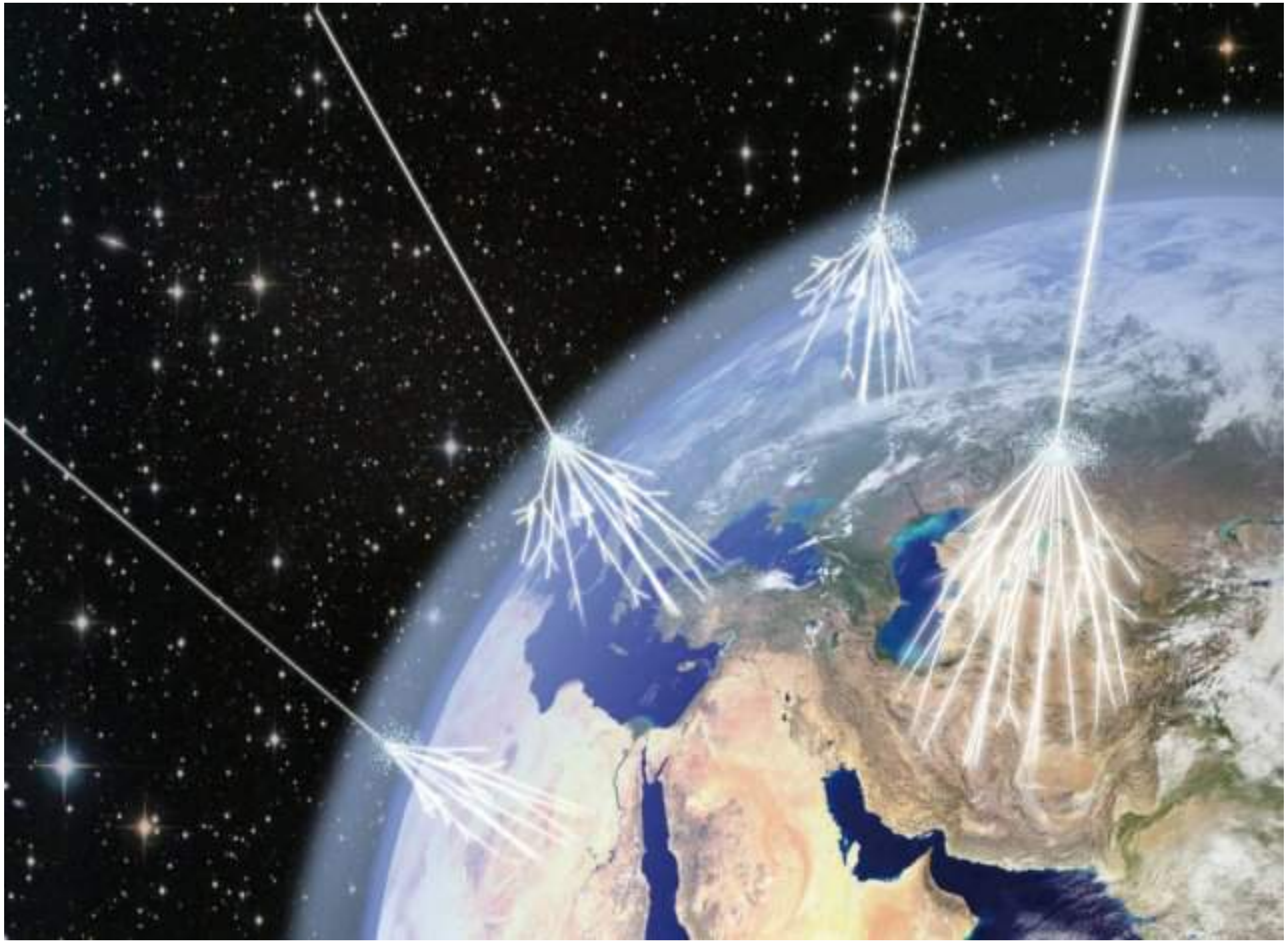
(1 al s per cm^2)

La maggior parte è di bassissima energia e non supera il campo magnetico terrestre e/o l’atmosfera

A terra arriva un flusso (principalmente muoni) di

1 al min per cm^2

Cosa sono i CR?



La Terra è "bombardata" costantemente da un flusso di particelle

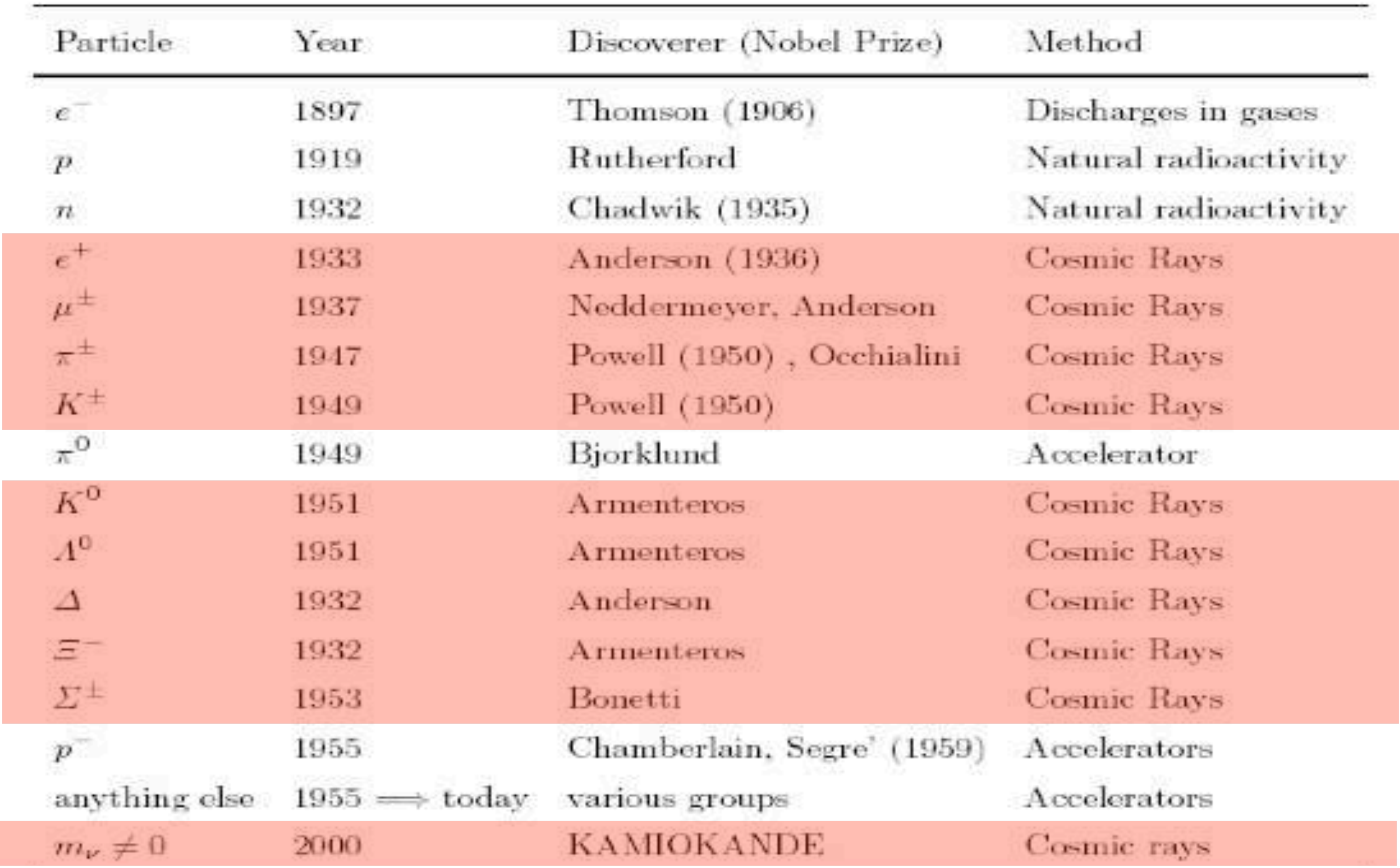
(1 al s per cm^2)

La maggior parte è di bassissima energia e non supera il campo magnetico terrestre e/o l'atmosfera

A terra arriva un flusso (principalmente muoni) di

1 al min per cm^2

Raggi cosmici e fisica delle particelle



Particle	Year	Discoverer (Nobel Prize)	Method
e^-	1897	Thomson (1906)	Discharges in gases
p	1919	Rutherford	Natural radioactivity
n	1932	Chadwik (1935)	Natural radioactivity
e^+	1933	Anderson (1936)	Cosmic Rays
$\mu^\pm$	1937	Neddermeyer, Anderson	Cosmic Rays
$\pi^\pm$	1947	Powell (1950) , Occhialini	Cosmic Rays
K^+	1949	Powell (1950)	Cosmic Rays
π^0	1949	Bjorklund	Accelerator
K^0	1951	Armenteros	Cosmic Rays
Λ^0	1951	Armenteros	Cosmic Rays
Δ	1932	Anderson	Cosmic Rays
Ξ^-	1932	Armenteros	Cosmic Rays
$\Sigma^\pm$	1953	Bonetti	Cosmic Rays
p^-	1955	Chamberlain, Segre' (1959)	Accelerators
anything else	1955 $\Longrightarrow$ today	various groups	Accelerators
$m_\nu \neq 0$	2000	KAMIOKANDE	Cosmic rays

Ritorno ai CR negli anni 90

1. Energie in gioco maggiori che in acceleratori

2. Collegamenti interdiscplinari
    - Fisica Nucleare
    - Fisica delle particelle
    - Astrofisica

3. Nuovi mezzi tecnici
    - Grandi rivelatori
    - **Palloni stratosferici**
    - **Satelliti**

Raggi cosmici

- Protoni ~87%
- He ~12 %
- 1% nuclei pesanti (principalmente C)
- < 1% elettroni
- < 1% raggi γ (fotoni di alta energia), neutrini
- anti-p e e+

Sono una delle principali componenti della Galassia e ~ l'unico campione di materiale di origine Galattica/extragalattica che giunge sulla Terra.

Ci portano informazioni di: astrofisica, cosmologia, interazioni adroniche, interazioni fondamentali, dark matter, simmetria materia/antimateria, nuove particelle/interazioni, …

I Raggi Cosmici carichi

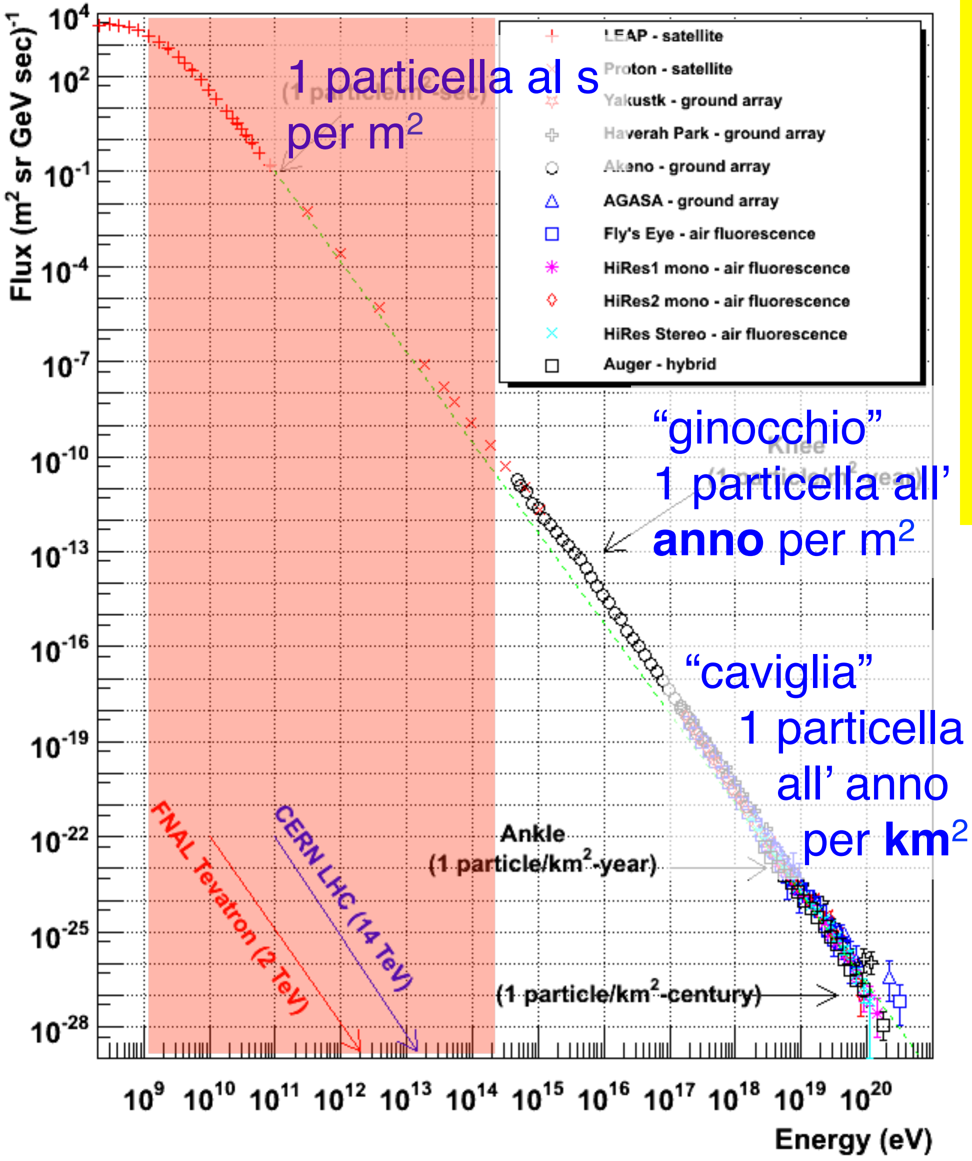
Scoperta dei CR - 1912

Misurando la conduttivita' dell' atmosfera in funzione dell' altitudine Hess scopri' I raggi Cosmici

Contemporaneamente anche studi paralleli dell'italiano Pacini

Hess nel suo pallone con il suo elettroscopio

Spettro dei CR



1 particella al s per m^2

“ginocchio” 1 particella all’ **anno** per m^2

“caviglia” 1 particella all’ anno per **km**^{2}

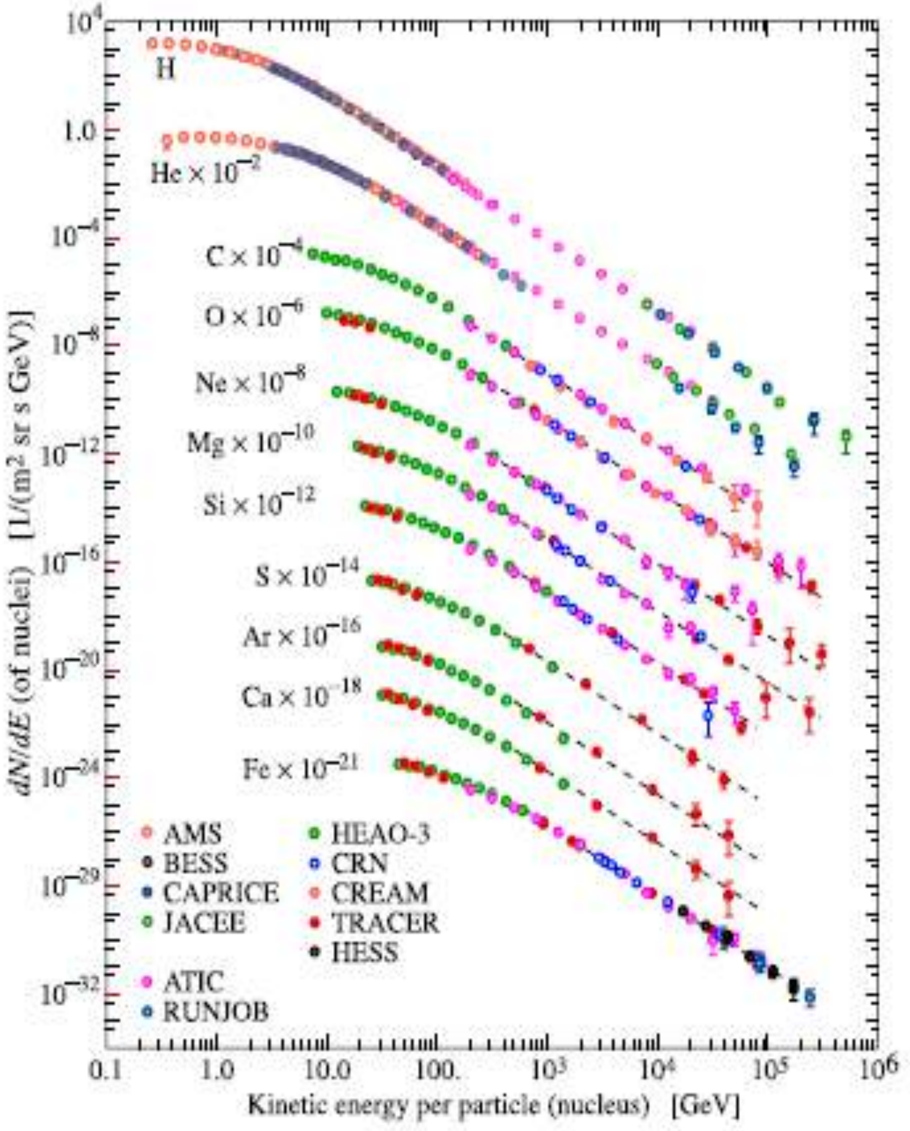
- Spettro di potenza fino a ~ 10^{20} eV.
- Densità di energia ≈ 1 eV / cm^3.
- Luminosità L > 10^{40} erg/s.
- Origine della radiazione alle altissime energie ancora in discussione
- Origine dell’andamento in funzione dell’energia (“ginocchio” e “caviglia”) ancora in discussione

Chiara evidenza che nell’ Universo sono all’ opera acceleratori di altissima energia

Fotoni (e neutrini) di alta energia

- prodotti nelle interazioni adroniche di R.C.
- puntano alla sorgente

Spettro dei CR



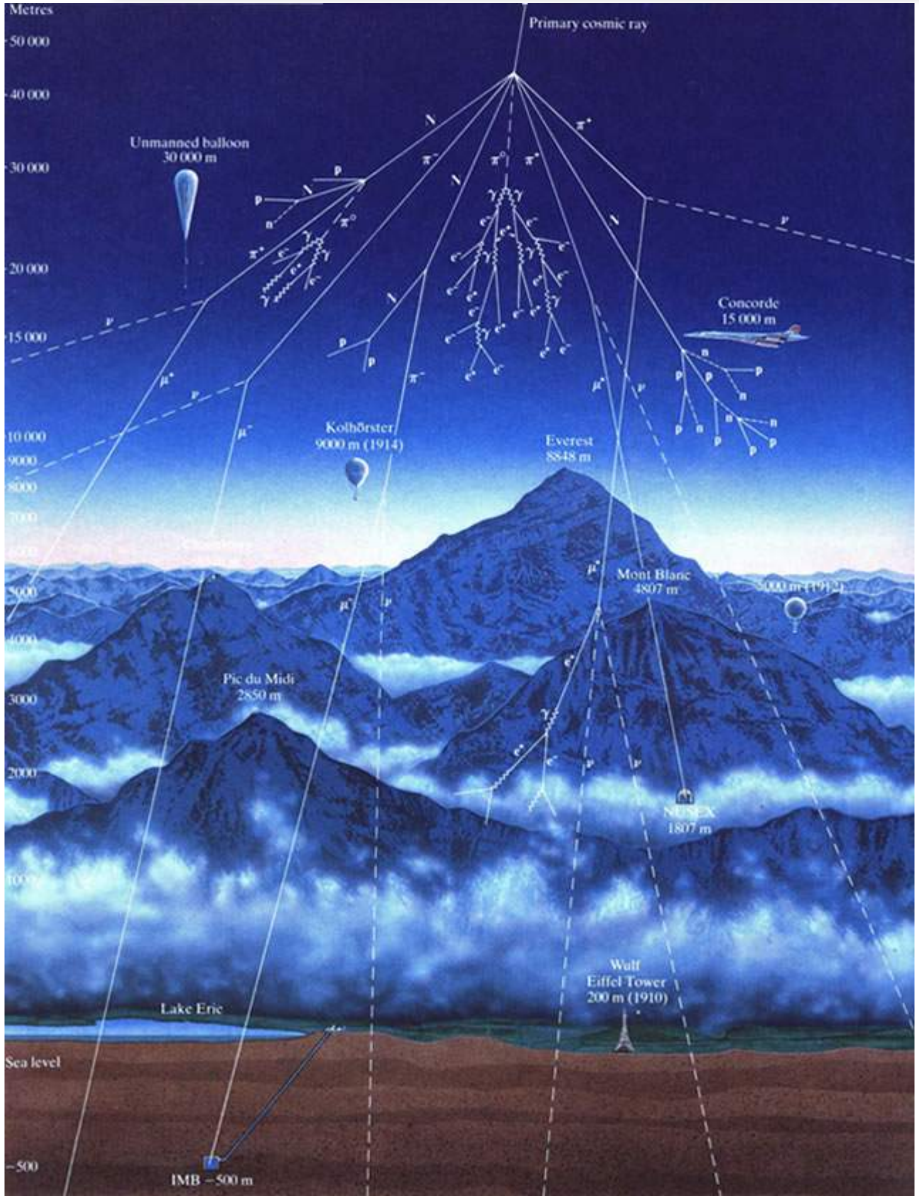
- Spettro di potenza fino a ~ 10^{20} eV.
- Densità di energia ≈ 1 eV / cm^3.
- Luminosità L > 10^{40} erg/s.
- Origine della radiazione alle altissime energie ancora in discussione
- Origine dell'andamento in funzione dell'energia ("ginocchio" e "caviglia") ancora in discussione
- Composizione chimica, in funzione dell'energia, ancora largamente ignota

Chiara evidenza che nell' Universo sono all' opera acceleratori di altissima energia

Fotoni (e neutrini) di alta energia

- prodotti nelle interazioni adroniche di R.C.
- puntano alla sorgente

Allacciate le cinture…


Metres
50 000
40 000
30 000
20 000
15 000
10 000
9000
8000
7000
5000
3000
2000
1000
-500
Primary cosmic ray
Unmanned balloon
30 000 m
Concorde
15 000 m
Kolhörster
9000 m (1914)
Everest
8848 m
Mont Blanc
4807 m
5000 m (1912)
Pic du Midi
2850 m
NUSEX
1807 m
Wulf
Eiffel Tower
200 m (1910)
Lake Erie
Sea level
IMB – 500 m

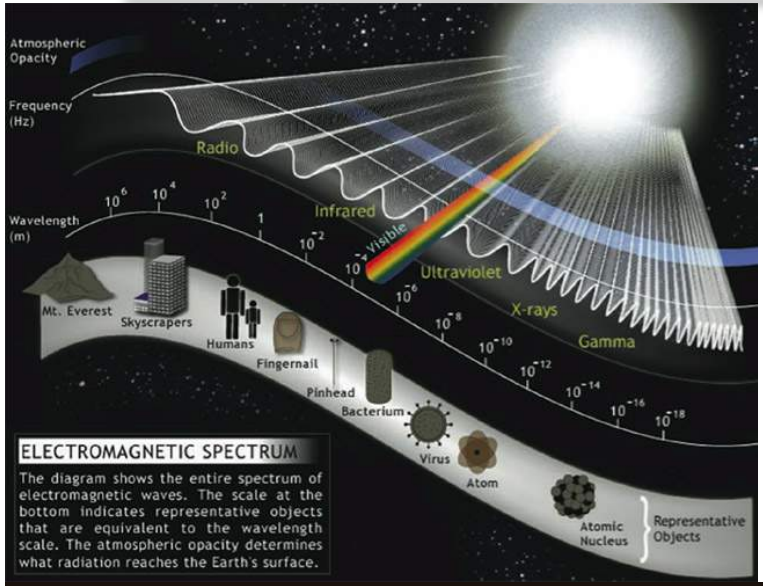
La maggior parte dei CR non raggiunge terra per via dell'interazione con l'atmosfera

Andiamo sopra l'atmosfera (almeno sopra la troposfera, nella stratosfera, raggiungibile anche via pallone)

Fisica delle Particelle nello spazio

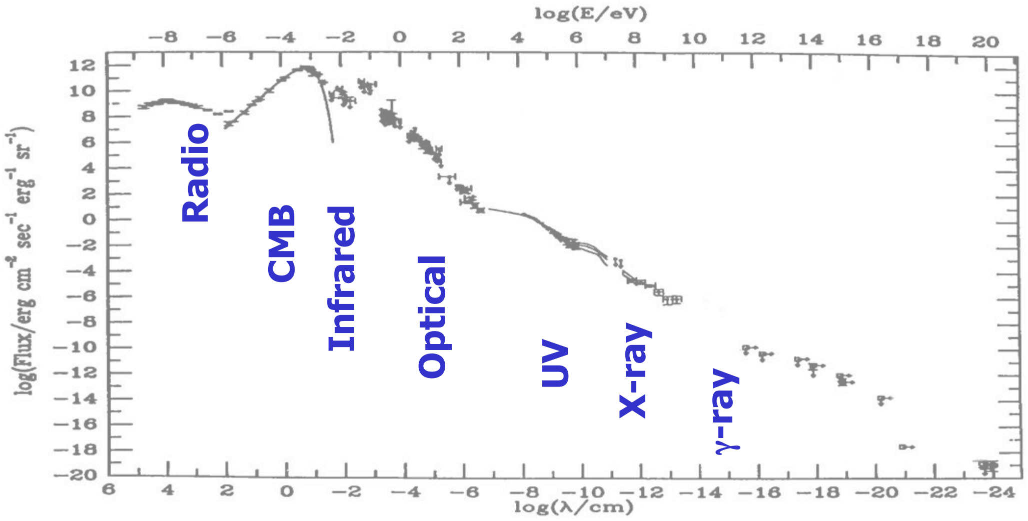
Astronomia
γ

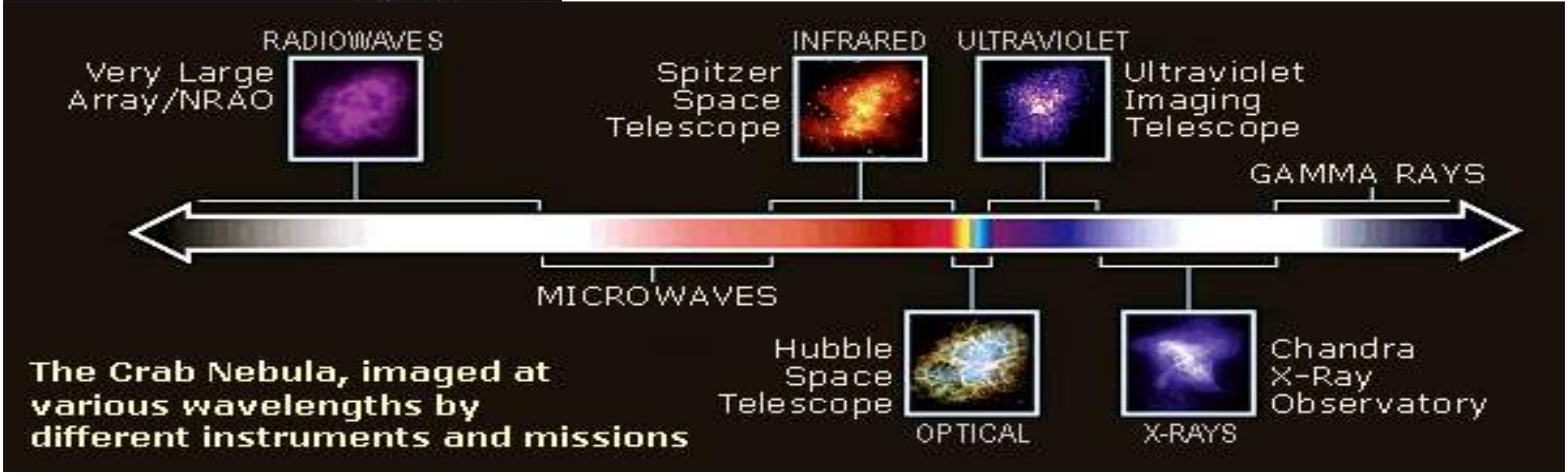
Lo spettro della radiazione elettromagnetica


Atmospheric Opacity
Frequency (Hz)
Radio
Infrared
Visible
Ultraviolet
X-rays
Gamma
Wavelength (m)
10^6
10^4
10^2
1
10^{-2}
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
10^{-10}
10^{-12}
10^{-14}
10^{-16}
10^{-18}
Mt. Everest
Skyscrapers
Humans
Fingernail
Pinhead
Bacterium
Virus
Atom
Atomic Nucleus
Representative Objects

ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

The diagram shows the entire spectrum of electromagnetic waves. The scale at the bottom indicates representative objects that are equivalent to the wavelength scale. The atmospheric opacity determines what radiation reaches the Earth's surface.

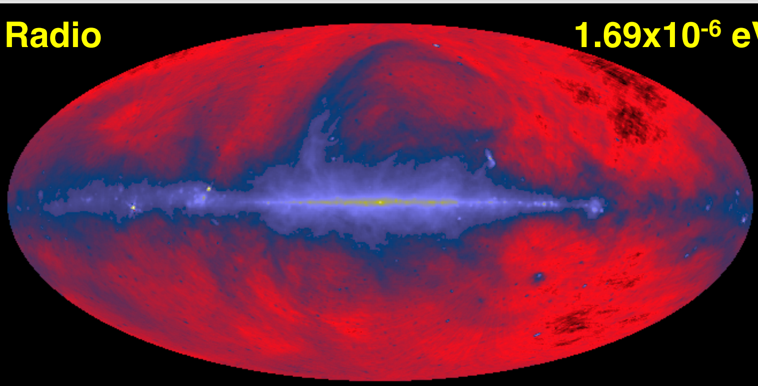



RADIOWAVES
Very Large Array/NRAO
INFRARED
Spitzer Space Telescope
ULTRAVIOLET
Ultraviolet Imaging Telescope
GAMMA RAYS
MICROWAVES
Hubble Space Telescope
OPTICAL
Chandra X-Ray Observatory
X-RAYS

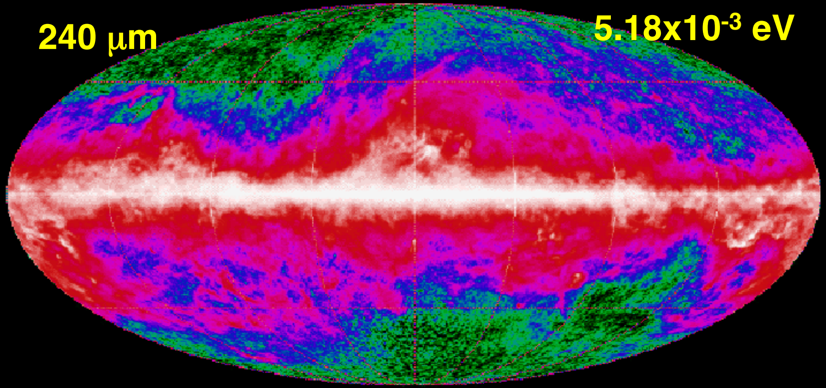
The Crab Nebula, imaged at various wavelengths by different instruments and missions

Il cielo multifrequenza

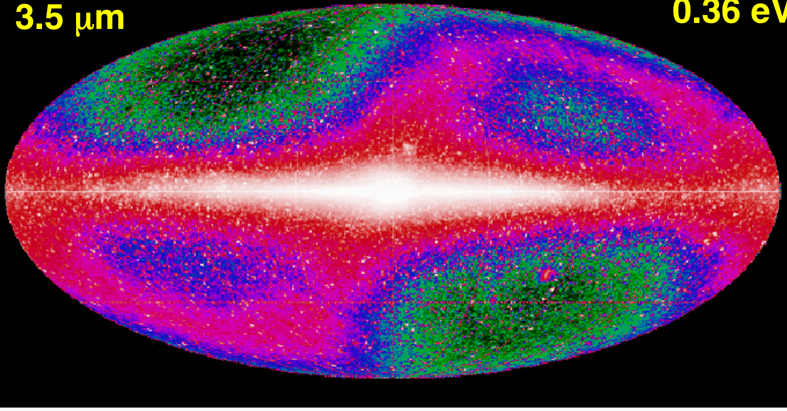
Radio 1.69x10^{-6} eV



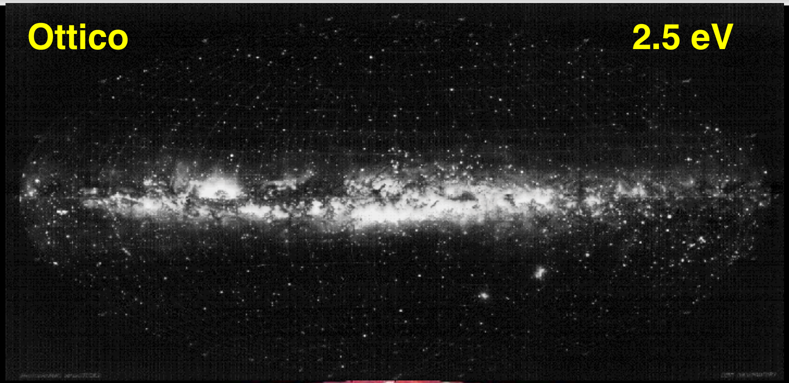
240 μm 5.18x10^{-3} eV



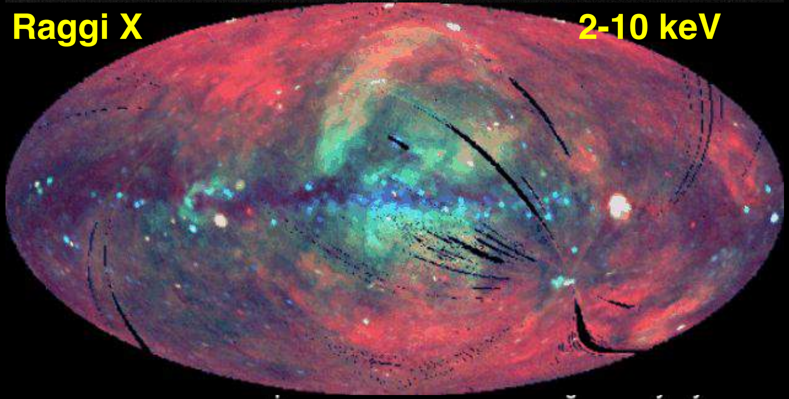
3.5 μm 0.36 eV



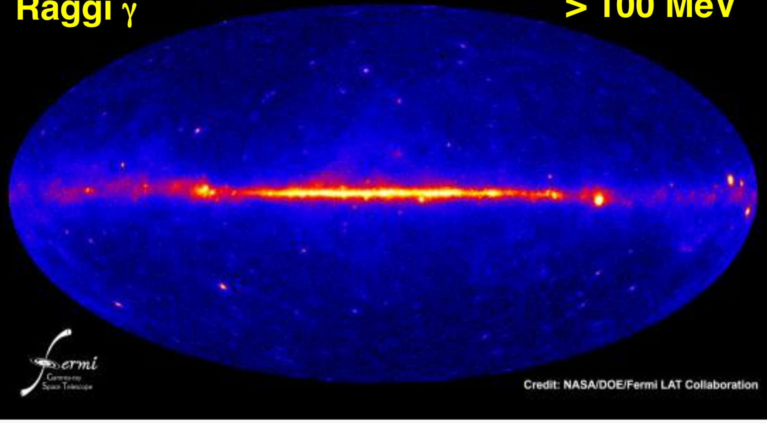
Ottico 2.5 eV



Raggi X 2-10 keV



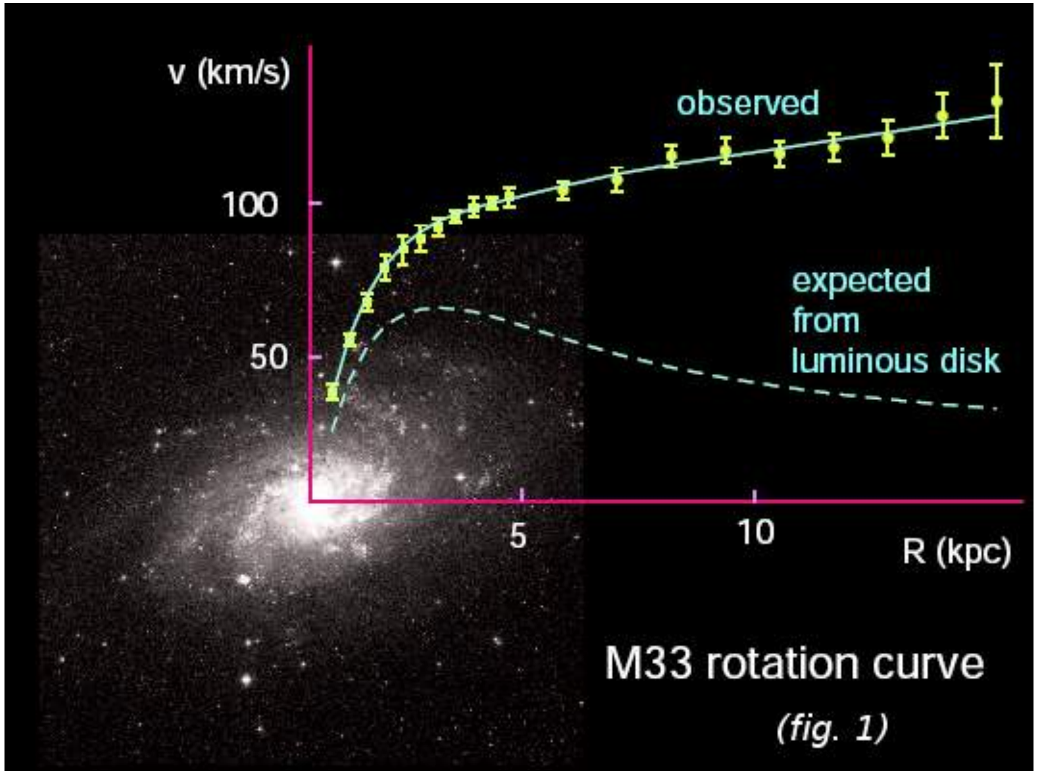
Raggi γ > 100 MeV


Fermi
Gamma-ray Space Telescope

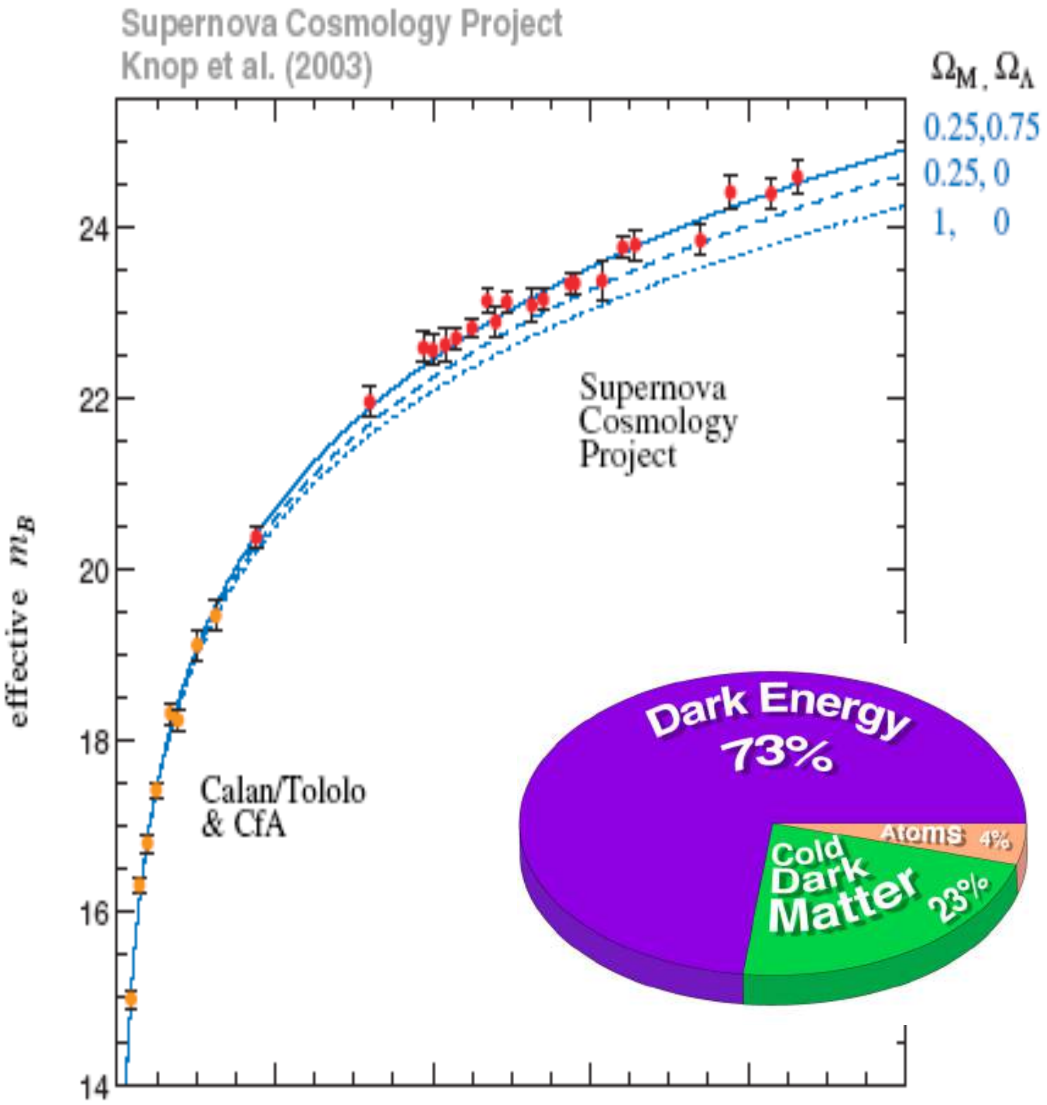
Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

Sorgenti esotiche (raggi cosmici carichi e γ)

Materia oscura (dark matter)

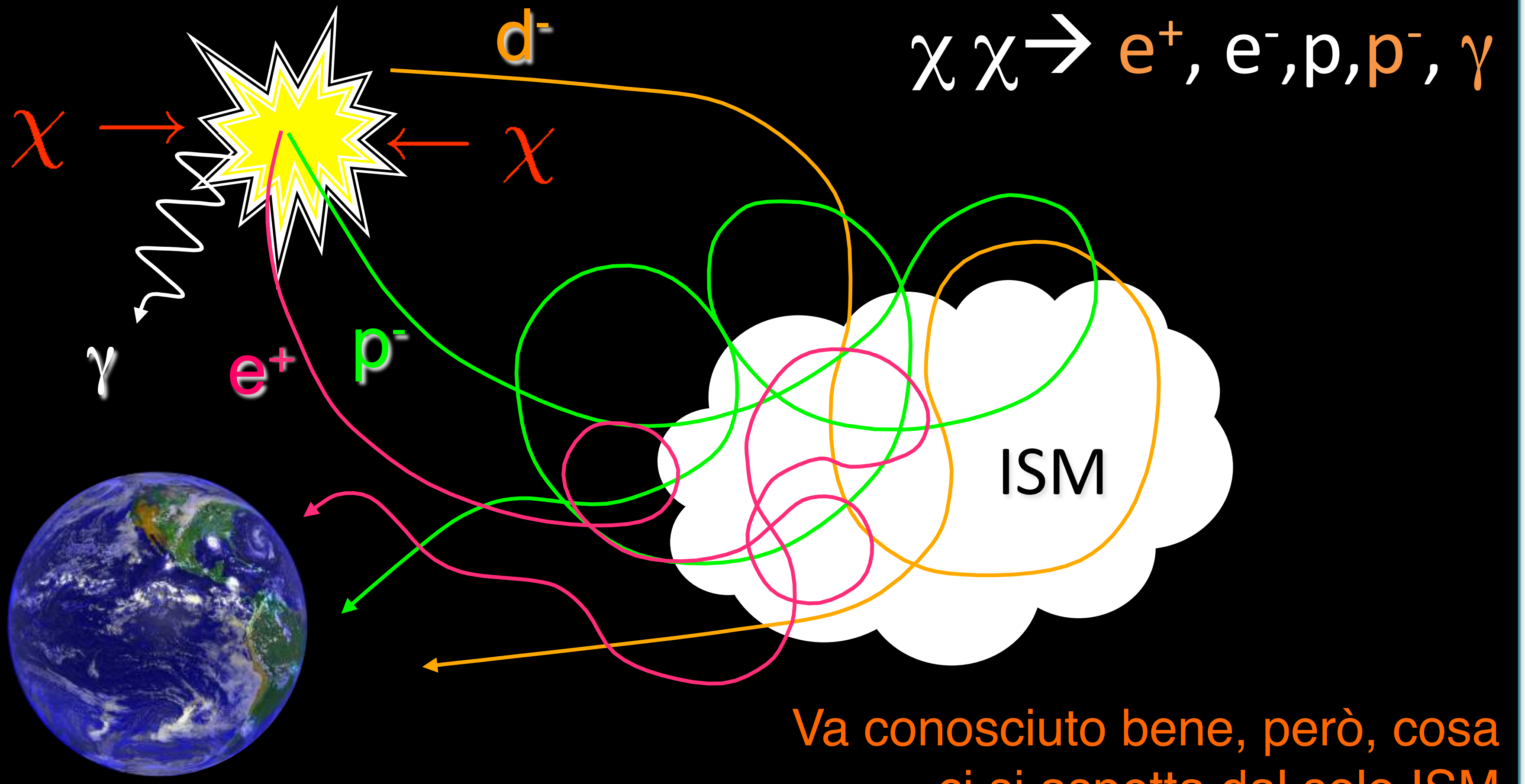


La velocità di rotazione degli "oggetti" nelle galassie è in contraddizione con quella prevista assumendo come massa della galassia solo quella visibile



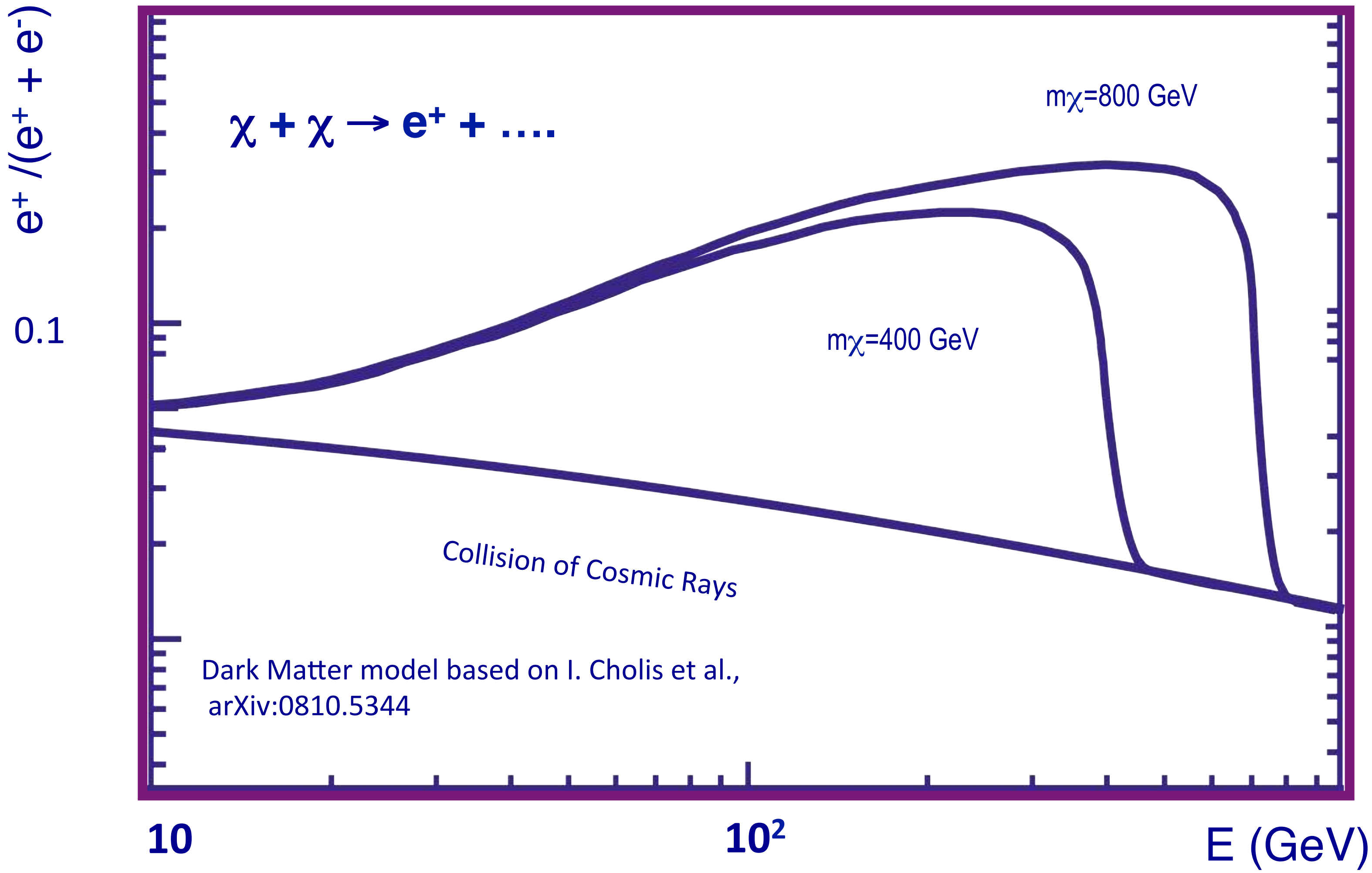
Dark matter

Ricerca di DM indiretta→ ricerca dei (rari nei CR) prodotti della loro annichilazione


$\chi\chi \rightarrow e^+, e^-, p, p^-, \gamma$
χ
χ
d^-
γ
e^+
p^-
ISM

Va conosciuto bene, però, cosa ci si aspetta dal solo ISM

What is needed?



Esperimenti

Esperimenti γ nello spazio

Rivelazione dallo spazio

- ❑ **Prima generazione 1960 – 1972**
  - Spark Chamber
  - Palloni Aerostatici
- ❑ **Seconda Generazione 1972-1991**
  - Spark Chambers
  - Piccoli satelliti
  - SAS-II, COS-B
- ❑ **Terza Generazione 1991-2007**
  - Spark Chamber
  - Grandi dimensioni
  - EGRET (CGRO)
- ❑ **Quarta Generazione 2007-2012+**
  - Nova tecnologia: Stato solido
  - AGILE (2007 ->)
  - FERMI (2008 ->)

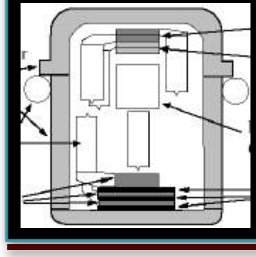
Rivelazione da terra

- ❑ **PrimaGenerazione 1960 – 1985**
  - Discriminazione fondo debole o assente
  - Lebedev, Glencullen, Whipple, Narrabri, Crimea
- ❑ **Seconda Generazione 1985 – 2004**
  - Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes
  - Whipple, Crimea, CAT, HEGRA, Durham, CANGAROO

……

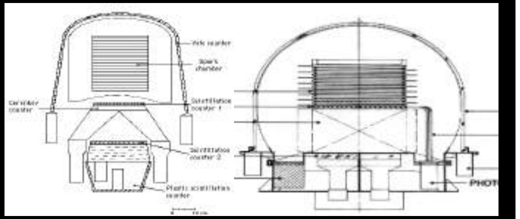
- ❑ **Terza Generazione 2004 –**
  - IACT di grandi dimensioni e stereoscopici
  - MAGIC-2, HESS-5, CANGAROO-III, VERITAS-4

OSO-3
(621 γ-rays)

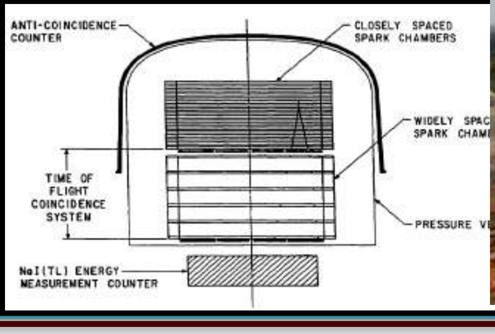


SAS-2
(~8k γ-rays)

COS-B
(~200k γ-rays)



EGRET
(1.4 x10^6 γ-rays)

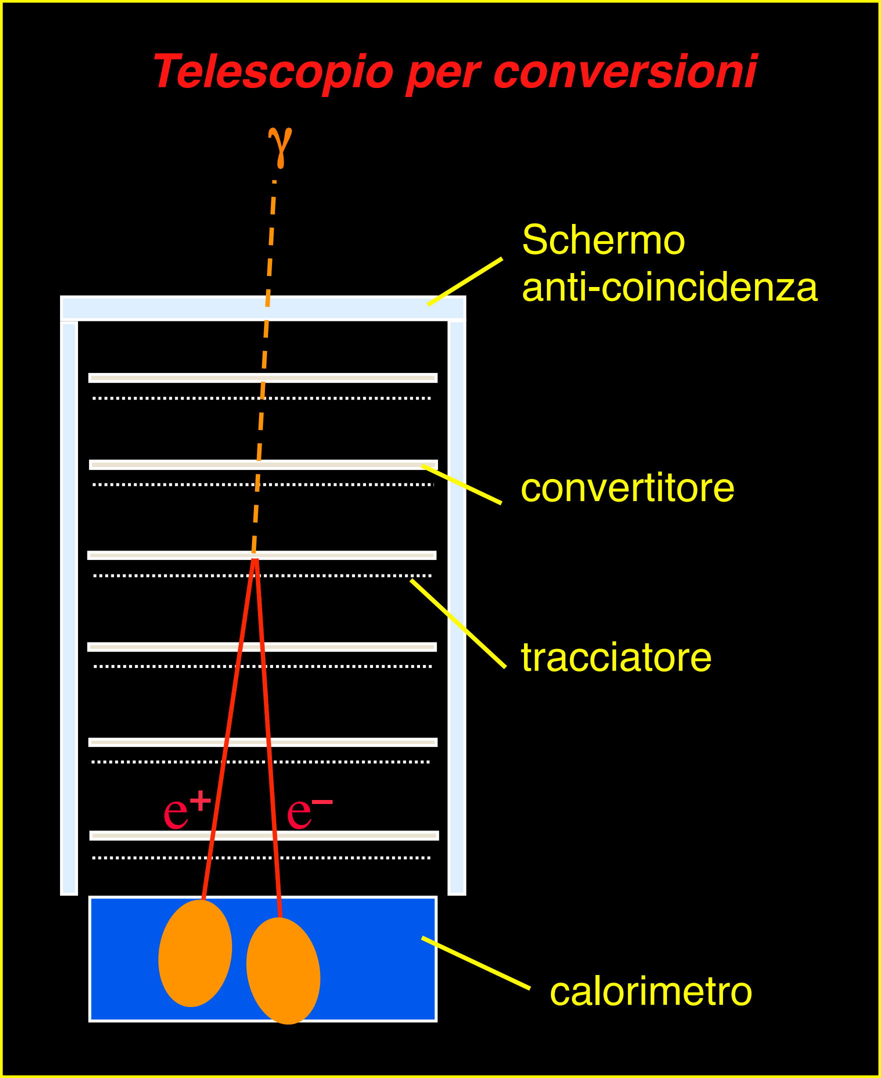

ANTI-COINCIDENCE COUNTER
CLOSELY SPACED SPARK CHAMBERS
WIDELY SPAC SPARK CHAM
TIME OF FLIGHT COINCIDENCE SYSTEM
PRESSURE VE
NaI(TL) ENERGY MEASUREMENT COUNTER

AGILE liftoff
23/4/2007

GLAST liftoff !
Wed 11 June 2008

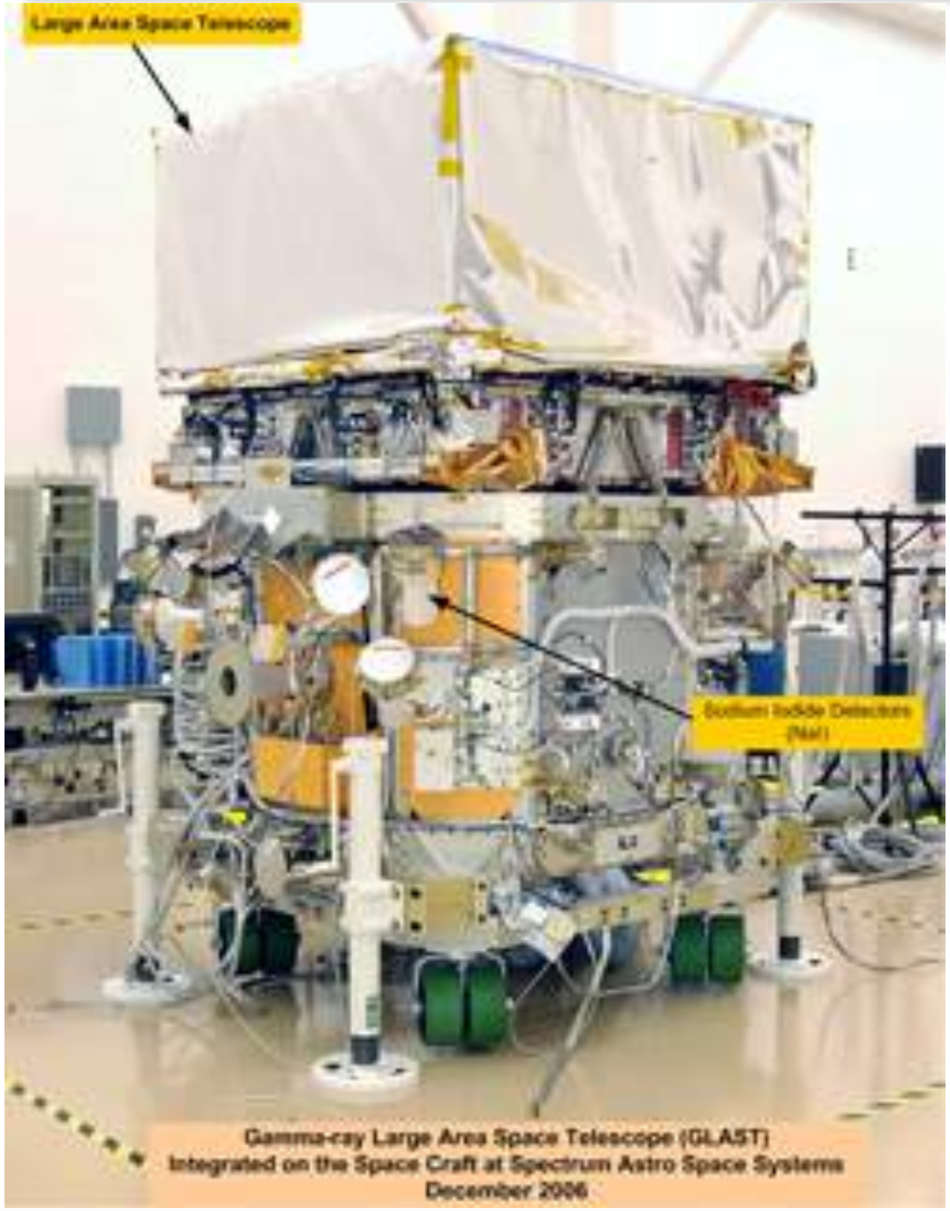
Fermi-LAT (Glast)

Descrizione schematica

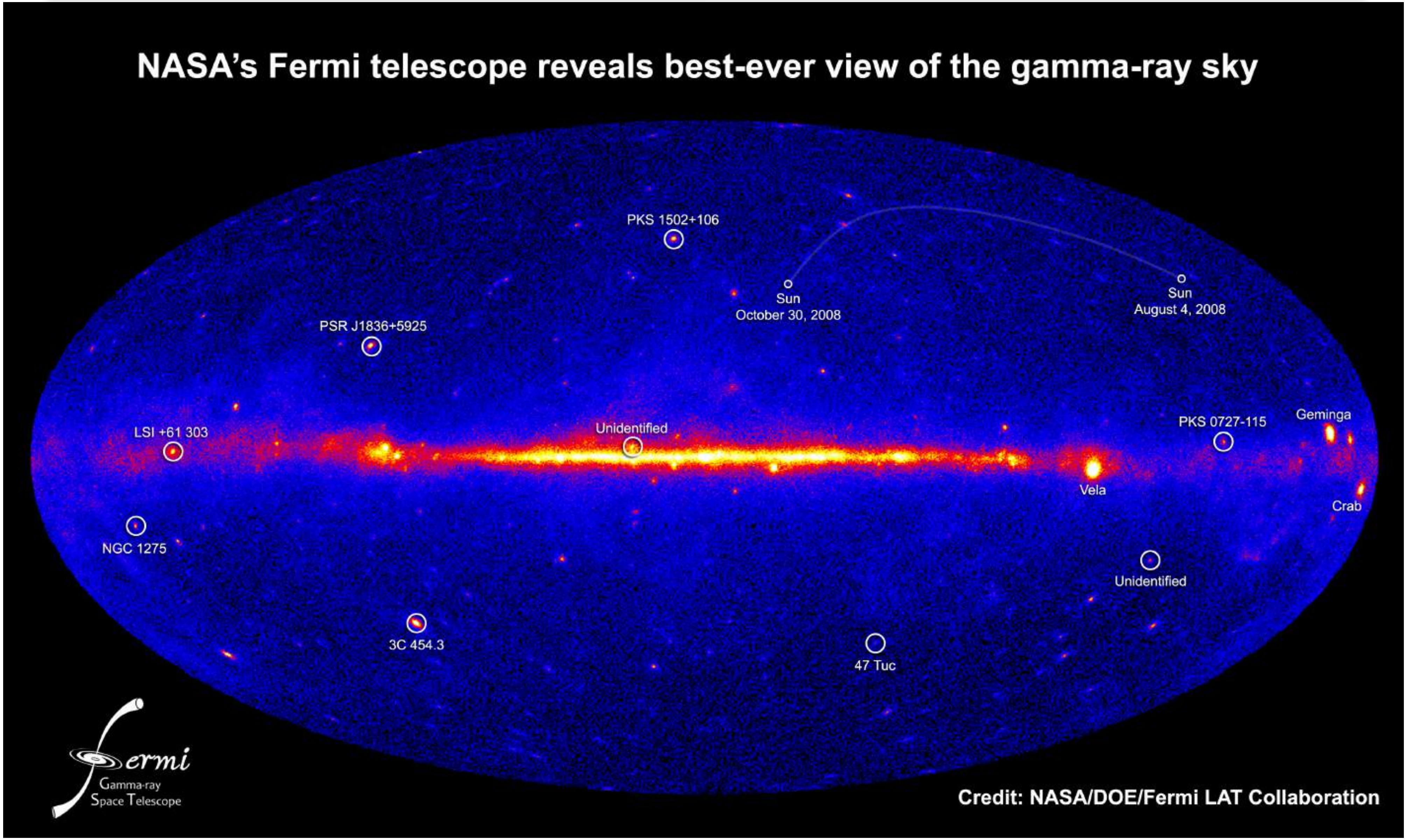

Telescopio per conversioni
γ
Schermo anti-coincidenza
convertitore
tracciatore
e+
e−
calorimetro

- Misure:
  - Direzione
  - Energia
  - Tempo
- Schermo anti-coincidenza
  - Identifica particelle cariche (da non considerare)
- Convertitore
  - Permette la conversione dei fotoni in una coppia e^+ e $^-$
- Tracciatore
  - Misura la traiettoria di elettrone e positrone da cui si ricava la direzione del gamma
- Calorimetro
  - Misura l'energia depositata dallo sciame elettromagnetico
- Count rate (GBM)

Fermi-LAT


Large Area Space Telescope
Sodium Iodide Detectors (NaI)
Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST) Integrated on the Space Craft at Spectrum Astro Space Systems December 2006

Il cielo di Fermi


NASA's Fermi telescope reveals best-ever view of the gamma-ray sky
PKS 1502+106
Sun
October 30, 2008
Sun
August 4, 2008
PSR J1836+5925
LSI +61 303
Unidentified
PKS 0727-115
Geminga
Vela
Crab
NGC 1275
Unidentified
3C 454.3
47 Tuc
Fermi
Gamma-ray
Space Telescope

Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

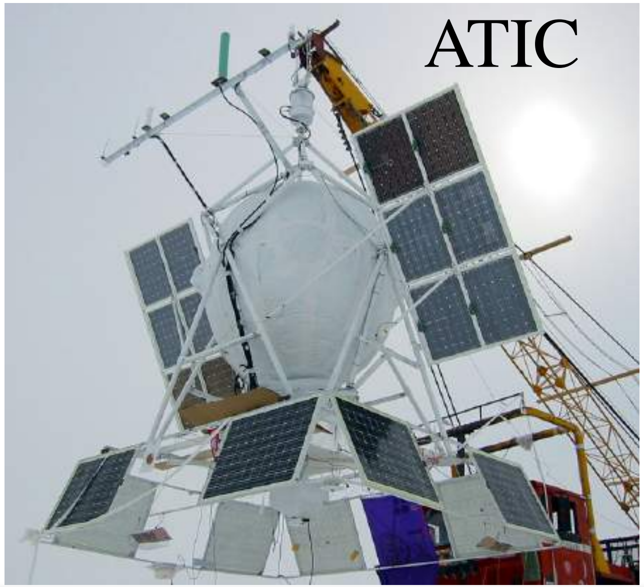
Misure dirette: palloni

Cosmic Ray Energetics and Mass (CREAM)

- 966 kg (2126 lbs)
- Voli: 2004 and 2005 (70 giorni) and 2007 (29 giorni), …
- Possibile “upgrade” con installazione sulla ISS (Stazione Spaziale Internazionale)

Advanced Thin Ionization Calorimeter (ATIC)

- 1636 kg (3600 lbs)
- Voli: 2000, 2002 (30 giorni), ultimo nel 2007 (14.5 giorni)



Misure dirette: palloni

Transition Radiation Array for Cosmic Energetic Radiation (TRACER)

- 1614 kg (3550 lbs)
- Voli: 2003, 2006 (14 giorni)

Trans-Iron Galactic Element Recorder (TIGER)

- 700 kg (1543 lbs)
- Voli nel 2001e 2003 (50 giorni)
- Super-TIGER in funzione dal 2013

Misure dirette: in orbita

Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics
(PAMELA)

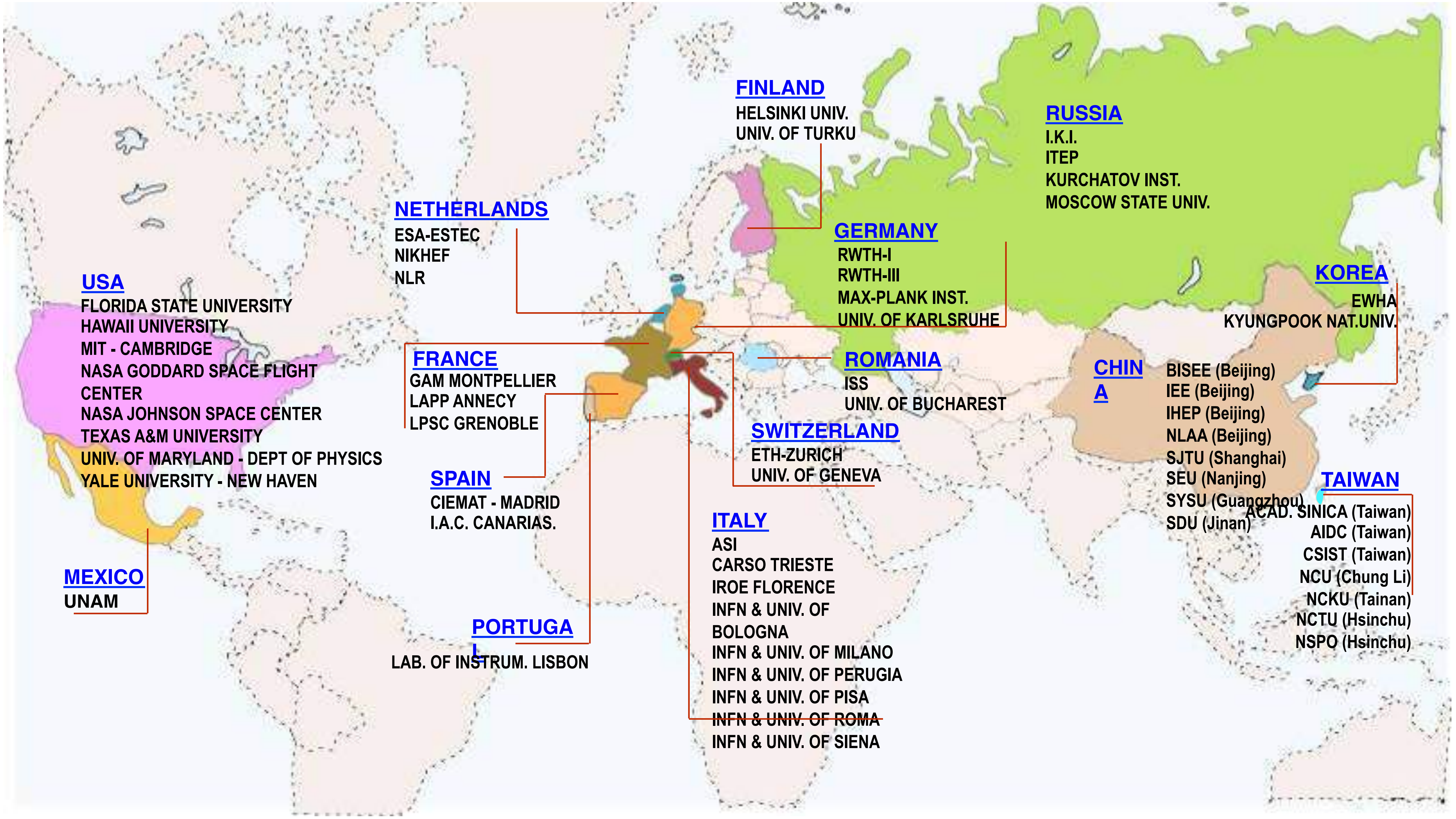
- 470 Kg
- In orbita dal 15 Giugno 2006

VIETATO FUMARE
3
3

PAMELA

AMS-02 sulla ISS

16 Nazioni, 60 Istituti and 600 Fisici



USA
FLORIDA STATE UNIVERSITY
HAWAII UNIVERSITY
MIT - CAMBRIDGE
NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER
NASA JOHNSON SPACE CENTER
TEXAS A&M UNIVERSITY
UNIV. OF MARYLAND - DEPT OF PHYSICS
YALE UNIVERSITY - NEW HAVEN

MEXICO
UNAM

NETHERLANDS
ESA-ESTEC
NIKHEF
NLR

FRANCE
GAM MONTPELLIER
LAPP ANNECY
LPSC GRENOBLE

SPAIN
CIEMAT - MADRID
I.A.C. CANARIAS.

PORTUGAL
LAB. OF INSTRUM. LISBON

FINLAND
HELSINKI UNIV.
UNIV. OF TURKU

GERMANY
RWTH-I
RWTH-III
MAX-PLANK INST.
UNIV. OF KARLSRUHE

ROMANIA
ISS
UNIV. OF BUCHAREST

SWITZERLAND
ETH-ZURICH
UNIV. OF GENEVA

ITALY
ASI
CARSO TRIESTE
IROE FLORENCE
INFN & UNIV. OF BOLOGNA
INFN & UNIV. OF MILANO
INFN & UNIV. OF PERUGIA
INFN & UNIV. OF PISA
INFN & UNIV. OF ROMA
INFN & UNIV. OF SIENA

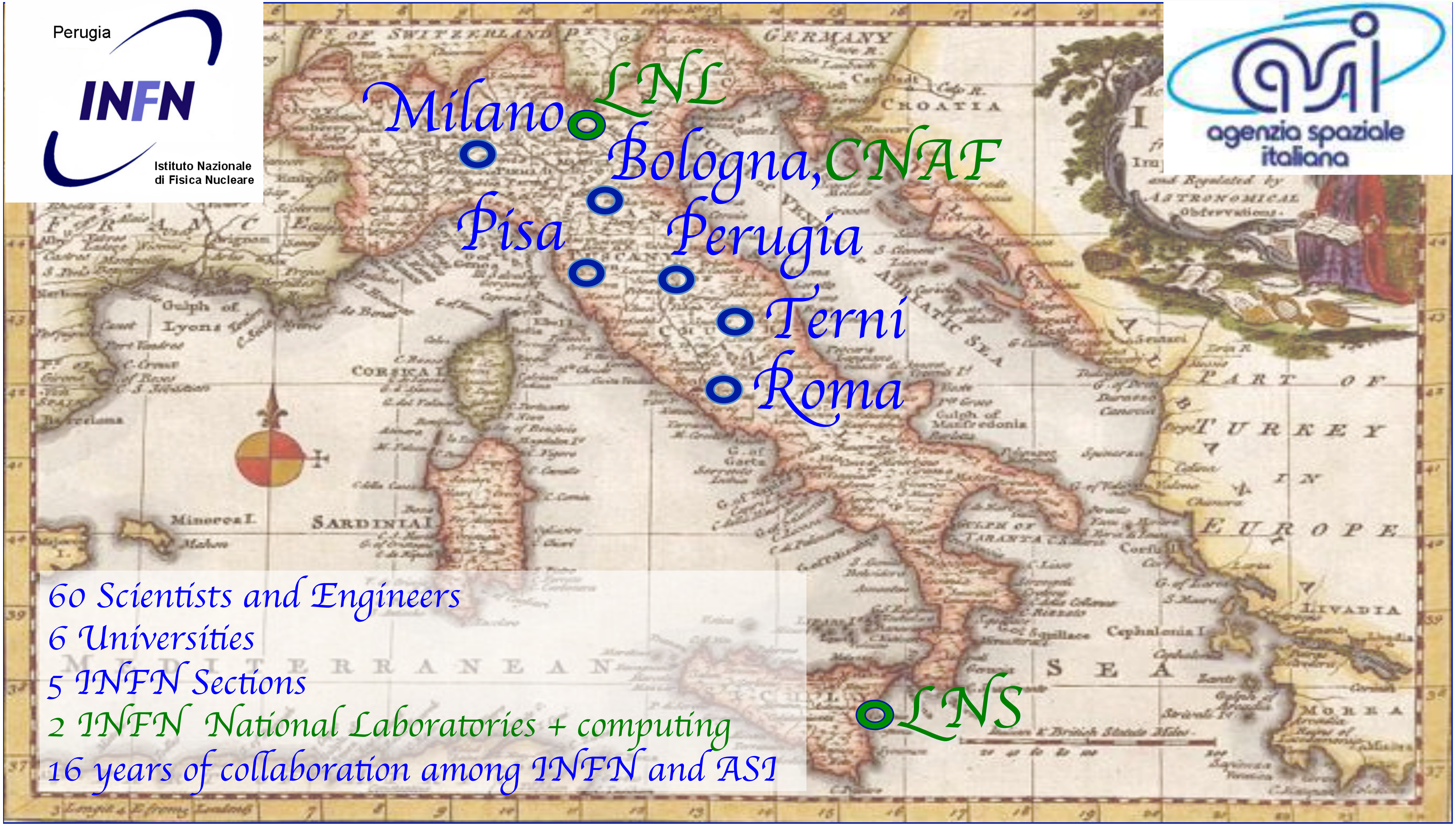
RUSSIA
I.K.I.
ITEP
KURCHATOV INST.
MOSCOW STATE UNIV.

CHINA
BISEE (Beijing)
IEE (Beijing)
IHEP (Beijing)
NLAA (Beijing)
SJTU (Shanghai)
SEU (Nanjing)
SYSU (Guangzhou)
SDU (Jinan)

KOREA
EWHA
KYUNGPOOK NAT.UNIV.

TAIWAN
ACAD. SINICA (Taiwan)
AIDC (Taiwan)
CSIST (Taiwan)
NCU (Chung Li)
NCKU (Tainan)
NCTU (Hsinchu)
NSPO (Hsinchu)

L'Italia in AMS


Perugia
INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Milano
LNL
Bologna,CNAF
Pisa
Perugia
Terni
Roma
LNS
agenzia spaziale italiana

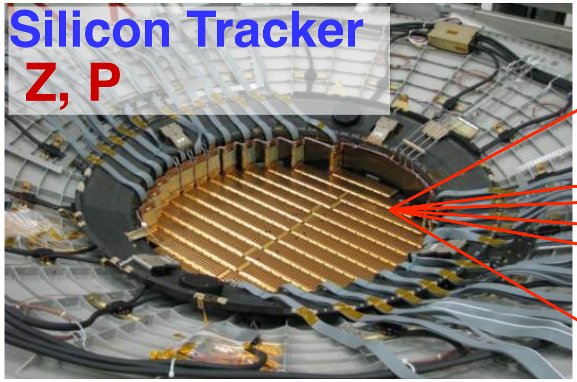
60 Scientists and Engineers
6 Universities
5 INFN Sections
2 INFN National Laboratories + computing
16 years of collaboration among INFN and ASI

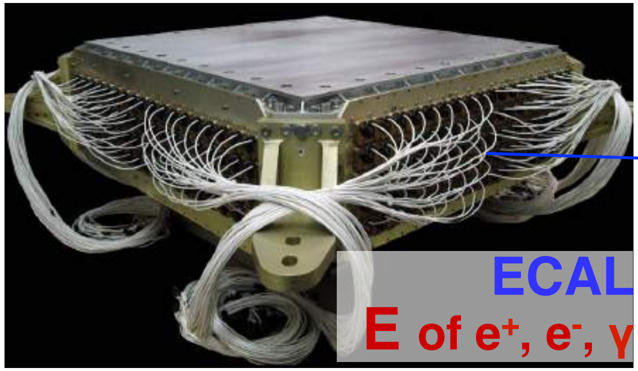
Perugia in AMS

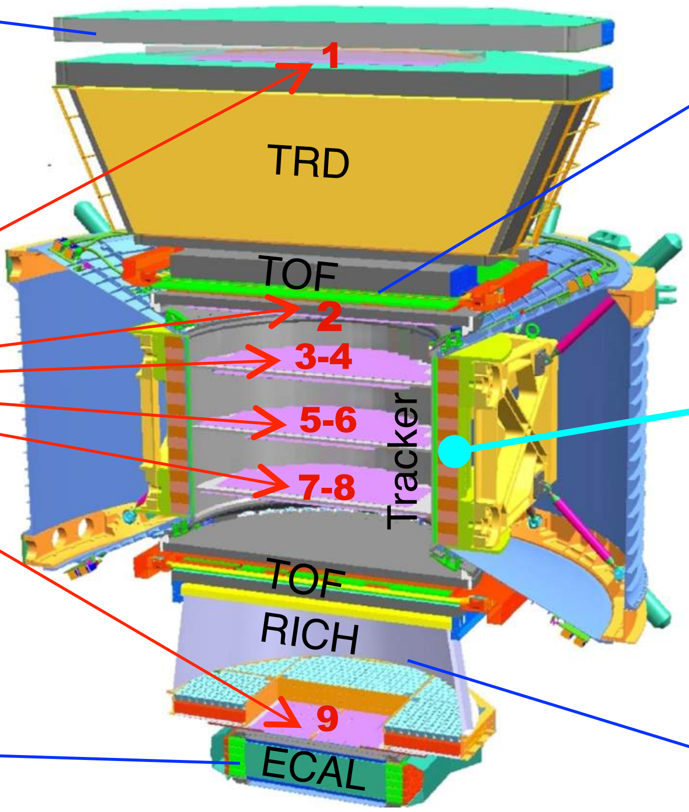
Il rivelatore AMS-02

***Z, P* sono misurate indipendentemente da Tracker, RICH, TOF e ECAL**

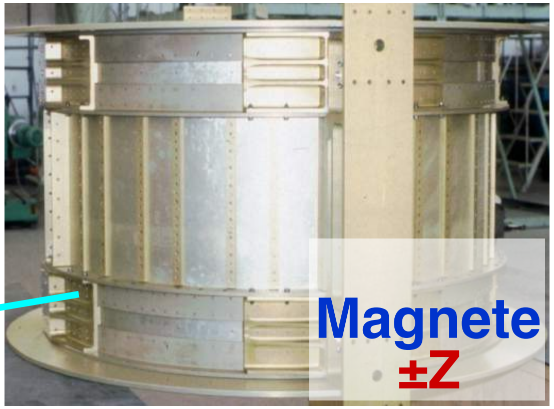
TRD
Identifica e^+, e^-

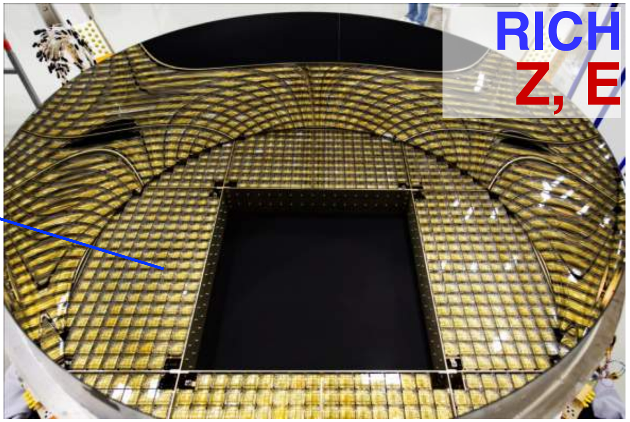

Silicon Tracker
Z, P


ECAL
E of e^+, e^-, γ


TRD
1
TOF
2
3-4
5-6
7-8
Tracker
TOF
RICH
9
ECAL

TOF
Z, E

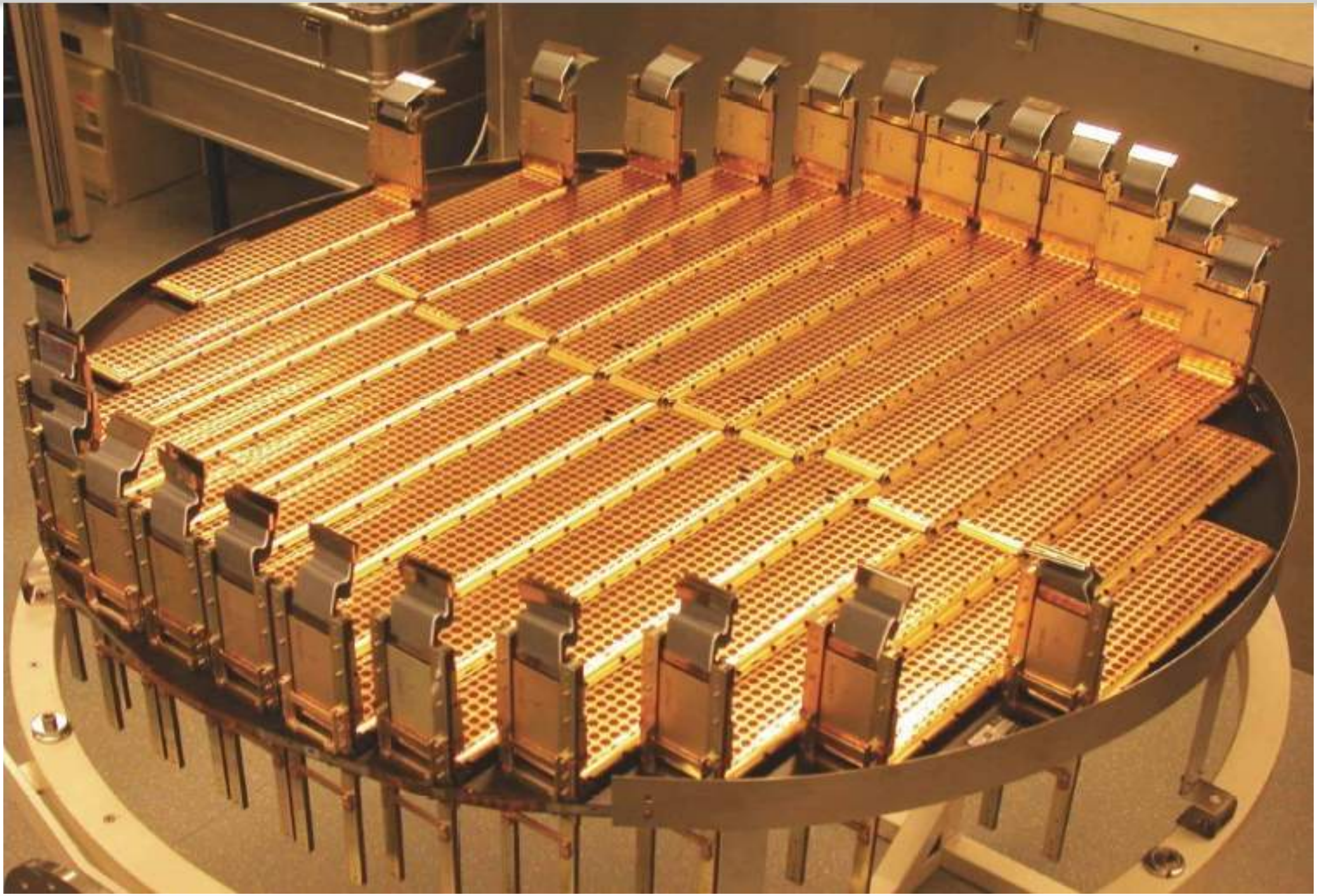

Magnete
±Z


RICH
Z, E

Il rivelatore assemblato

5m x 4m x 3m
7.5 tons
~2KW
10Mpbs
AMS
19

Il tracker: responsabilità del gruppo di Perugia



Scopi

- Fisica fondamentale e antimateria:
  - Origine primordiale (segnale: anti-nuclei)
  - Sorgenti "esotiche" (segnale: positroni, anti-p, anti-D, γ)

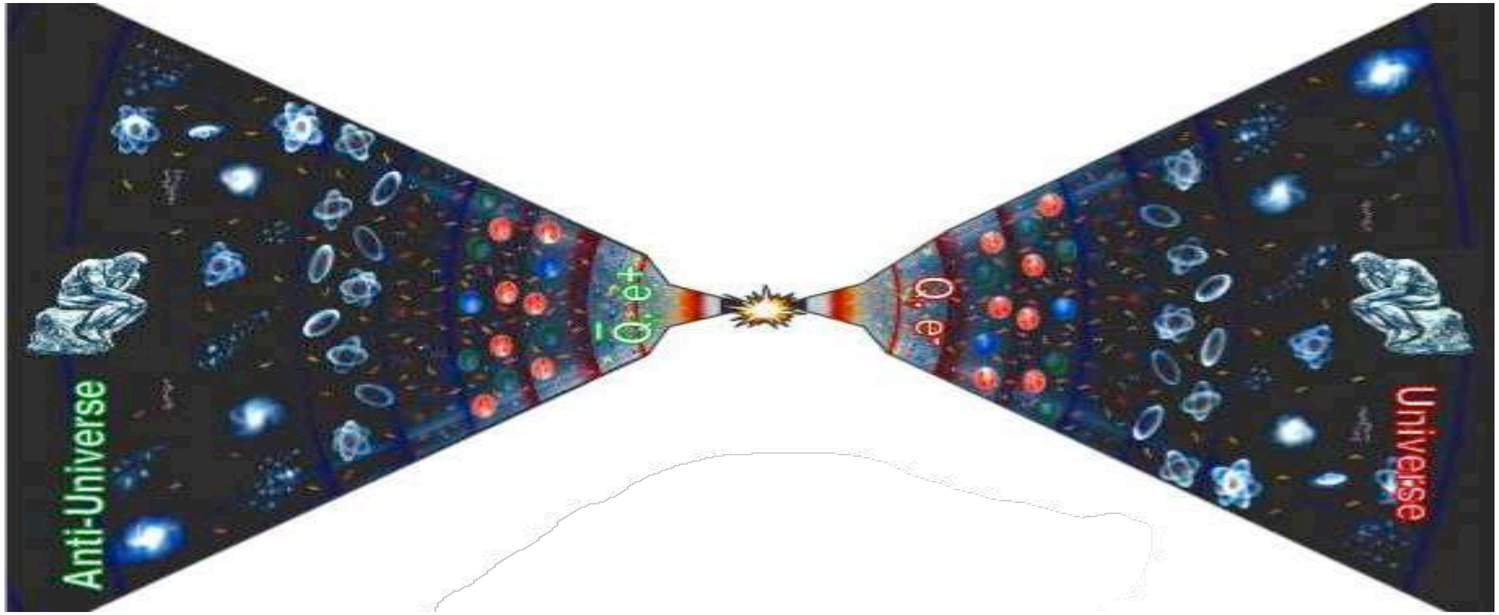
- Composizione e origine dei CRs
  - Sorgenti e Accelerazione: Protoi e He
  - Propagazione nel ISM: secondari (B/C, ...)

Antimateria

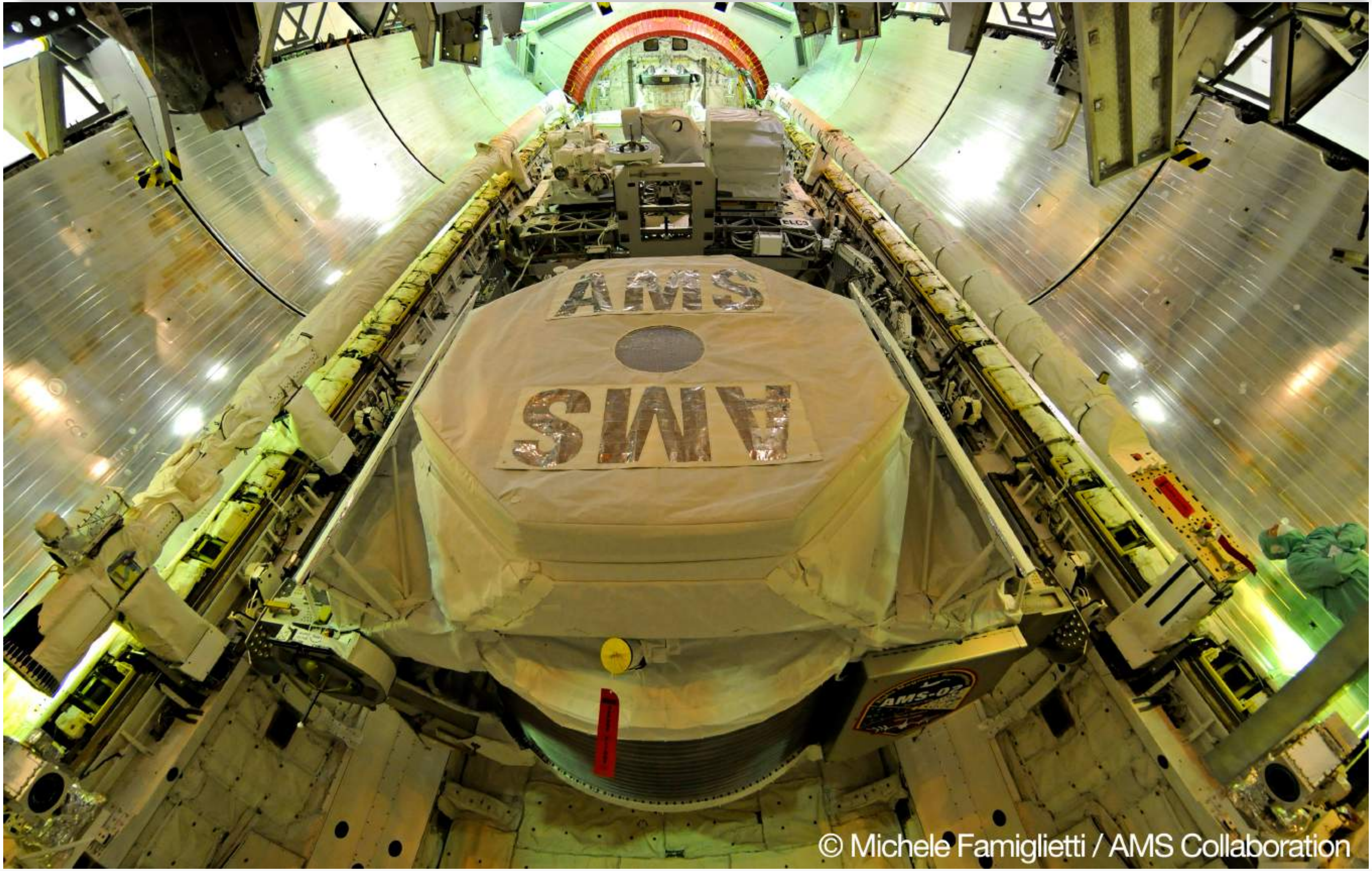
Origine primordiale (Segnale: anti-nuclei)

Dirac's Nobel speech

"We must regard it rather as an accident that the Earth […] contains a preponderance of negative electrons and positive protons. It is quite possible that for some stars it is the other way about."



AMS nello Shuttle (Endeavour, STS134)


AMS
AMS
AMS-02
ELC3

© Michele Famiglietti / AMS Collaboration

Il lancio di AMS - @ JSC, Texas

Houston, JSC - May 16, 2011@ 07:56 AM

MET
000:00:00:01+
SBND MILA->PDL 00:00:59-
SBND PDL ->MILA 00:02:29-
SBND MILA->TDRS 00:07:29-
NASA
esa
JAXA
ASC CSA
INTERNATIONAL SPACE STATION
MCC
AMS RICH

Il lancio di AMS - @ KSC, Florida

May 16, 2011, 08:56 AM

Total weight: 2008 t
AMS weight: 7.5 t

AMS sulla International Space Station

May 19, 2011:
AMS
installazione
completa

Una bella esperienza…

Il gruppo del Tracker aspetta l'istallazione

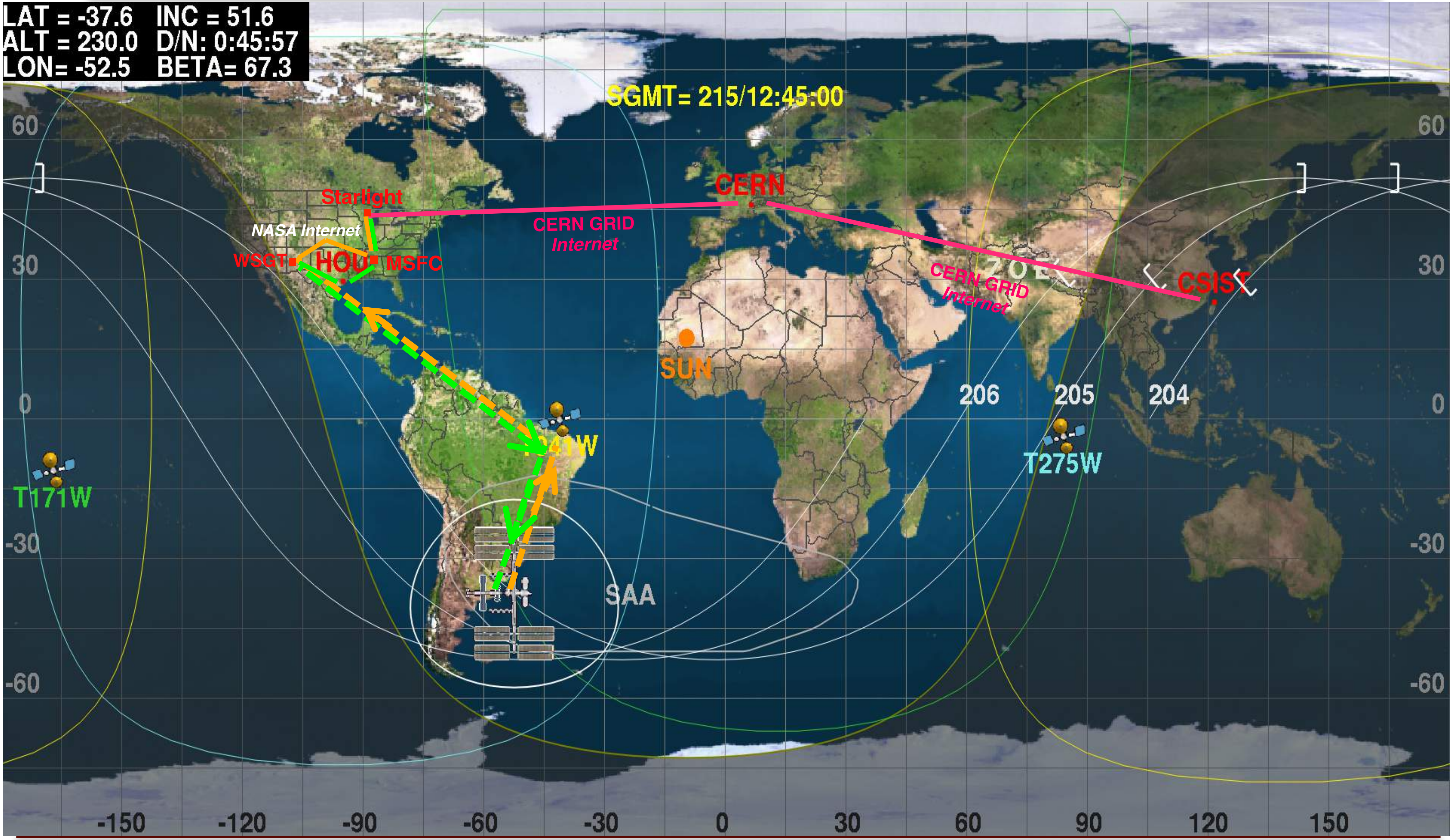
Il gruppo del Tracker aspetta il lancio
AMS Tracker
AMS TTCS

AMS-Italy con il "nostro" shuttle
United States

Dopo 3 turni di notte aspettando l'istallazione
AMS Tracker
AMS-02

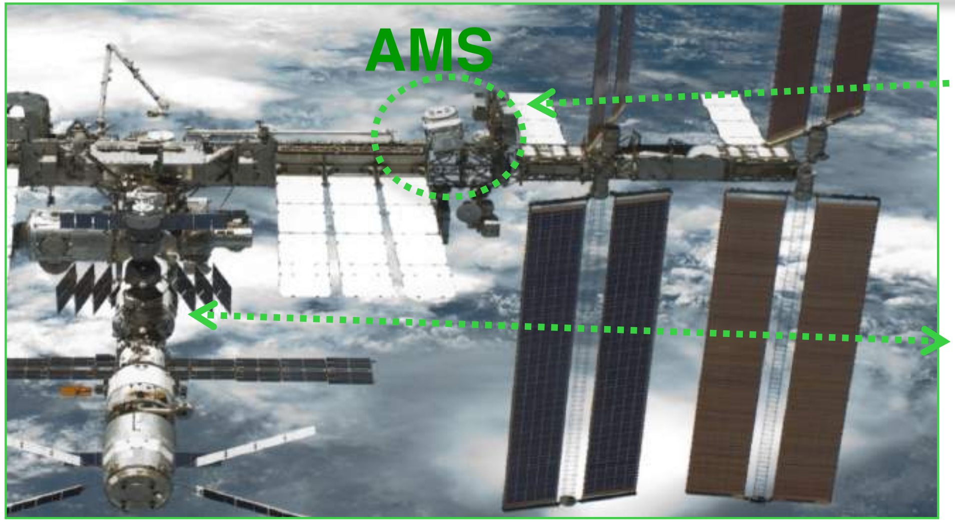
AMS-02
NASA
esa
JAXA
AMS Tracker
AMS Lead
Chips Ahoy!

In orbita a @ 400 km

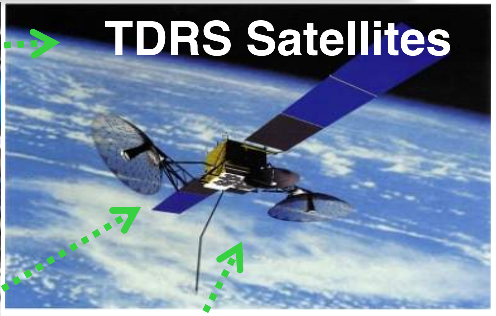

LAT = -37.6
INC = 51.6
ALT = 230.0
D/N: 0:45:57
LON= -52.5
BETA= 67.3
SGMT= 215/12:45:00
Starlight
NASA Internet
WSGT
HOU
MSFC
CERN
CERN GRID
Internet
CERN GRID
Internet
ZOE
CSIST
SUN
206
205
204
T171W
T41W
T275W
SAA
60
30
0
-30
-60
-150
-120
-90
-60
-30
0
30
60
90
120
150

Operazioni AMS: 24/24 – 7/7 – 365/year

Operazioni in Orbita



Astronaut at ISS AMS Laptop


TDRS Satellites

Ku-Band
High Rate (down):
Eventi <10Mbit/s>
≈ 30 miliardi di trigger
70 TB di dati raw

Operazioni a Terra

S-Band
Low Rate (up & down):
Commanding: 1 Kbit/s
Monitoring: 30 Kbit/s

AMS Payload Operations Control e Science Operations Centers (POCC, SOC) al CERN

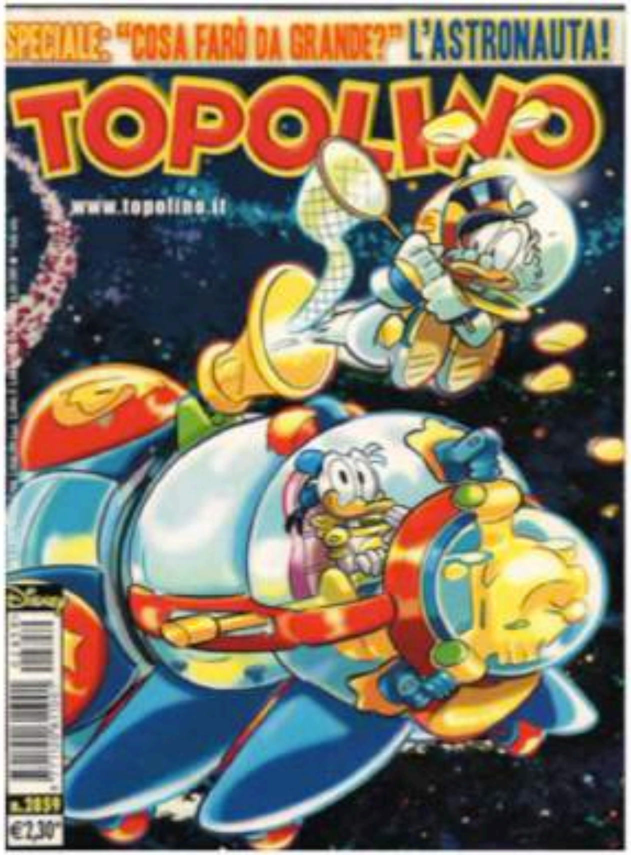
AMS Computers at MSFC, AL

White Sands Ground Terminal, NM

Payload Operation Control Center (POCC) @ CERN

La prima pubblicazione su AMS-02…

Dalla copertina di Topolino …


SPECIALE: "COSA FARÒ DA GRANDE?" L'ASTRONAUTA!
TOPOLINO
www.topolino.it
n.2859
€2,30

Topolino libretto n.2859
14 Settembre 2010

3 Giochini per le stelle
Paperino Paperotto, Roby Vic e i conti... alla rovescia

Positron fraction (0.5 - 500 GeV)

$e^+ / (e^+ + e^-)$

Energy (GeV)

Se non succede nulla…

AMS prenderà dati per tutta la durata della Stazione Spaziale Internazionale (2024)

MakeAGIF.com

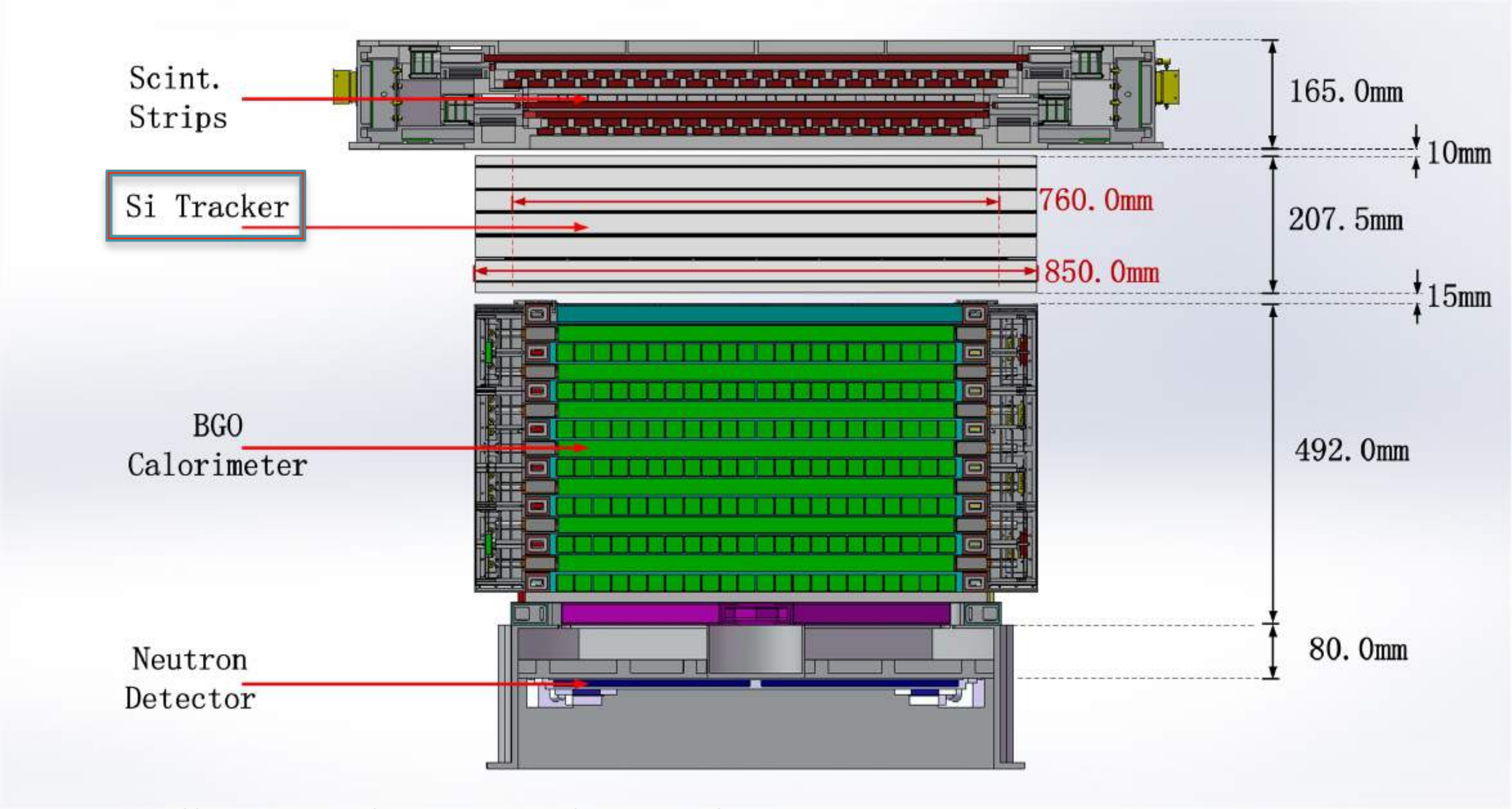
DAMPE, DArk Matter Particle Explorer

Obiettivi scientifici di DAMPE

- Rivelazione di particelle di alta energia nello spazio
  - Ricerca indiretta di Dark Matter
  - Studio dello spettro e della composizione dei CRs
  - Astronomia di fotoni di alta energia

- Successore naturale di Fermi/LAT e AMS-02
  - Estensione dell'intervallo di energia e migliore risoluzione energetica
  - Presa dati contemporanea per un periodo

Layout di DAMPE


Scint.
Strips
Si Tracker
BGO
Calorimeter
Neutron
Detector
165.0mm
10mm
760.0mm
207.5mm
850.0mm
15mm
492.0mm
80.0mm

- Scintillatori, Silicon tracker, calorimetro di BGO, neutron detector
- Combina un telescopio γ-ray con un calorimetro a imaging profondo
  - Silicon tracker/converter + calorimetro di BGO a imaging

    Totale ~33 X_0 → il più "profondo" rivelatore nello spazio

State connessi!