

Rivelatori per la fisica astroparticellare

- Satelliti/Palloni
- Problematiche tecnologiche
- Esempi: gli esperimenti approvati di Gruppo2
 - Agile
 - Ams02
 - Cream
 - Glast
 - Pamela/Wizard

Oscar Adriani

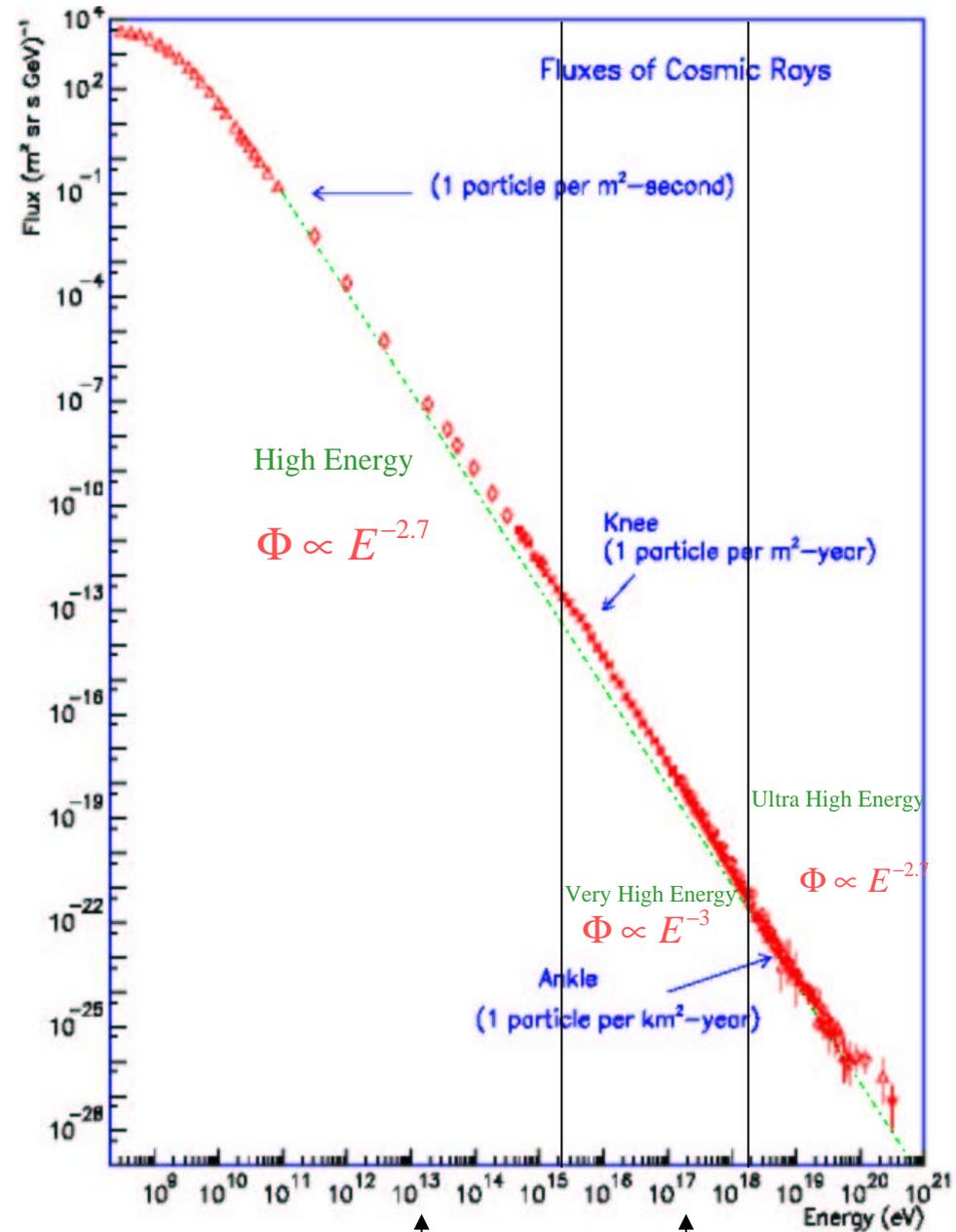
INFN Sezione di Firenze / Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze

Raggi Cosmici carichi

$$\Phi \propto E^{-2.7}$$

Deviazioni da questa legge di potenza nelle regioni del

- ginocchio ($3 \cdot 10^{15}$ eV)
- caviglia ($5 \cdot 10^{18}$ eV)



LHC Beam Energy

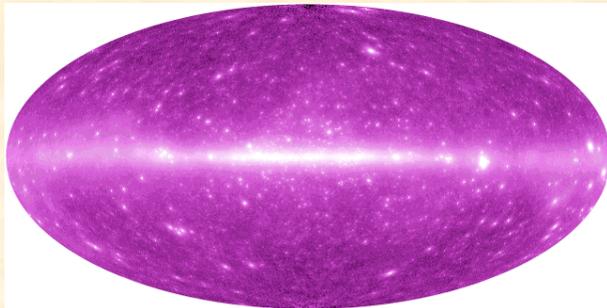
LHC CM Energy

Cosa possiamo imparare dai RC carichi?

Misure/Effetti sperimentali	Informazioni Fisiche
<p>Composizione:</p> <ul style="list-style-type: none">$p \cong 85\%$$He \cong 12\%$$C, N, O \cong 10^{-2}$$Fe \cong 10^{-4}$$e^- \cong 2\%$$e^+ \cong 10^{-4}$$\bar{p} \cong 10^{-4}$ <p>Spettri energetici</p> <p>Composizione isotopica</p> <p>Ricerche di antinuclei</p> <p>Ricerche di nuove particelle</p> <p>Modulazione solare</p> <p>Taglio geomagnetico</p> <p>Fasce di radiazione</p> <p>Atmosfera ($23 X_0, 11 I_T$)</p>	<p>Sorgenti</p> <p>Meccanismi di accelerazione</p> <p>Meccanismi di propagazione</p> <p>Mezzo interstellare</p> <p>Tempo di confinamento</p> <p>Nucleosintesi</p> <p>Campi magnetici</p> <p>Fisica del sole</p> <p>Geofisica</p> <p>Simmetria materia/antimateria???</p> <p>Nuove particelle???</p> <p>Materia oscura???</p> <p>Nuove interazioni???</p> <p>Cosmologia???</p>

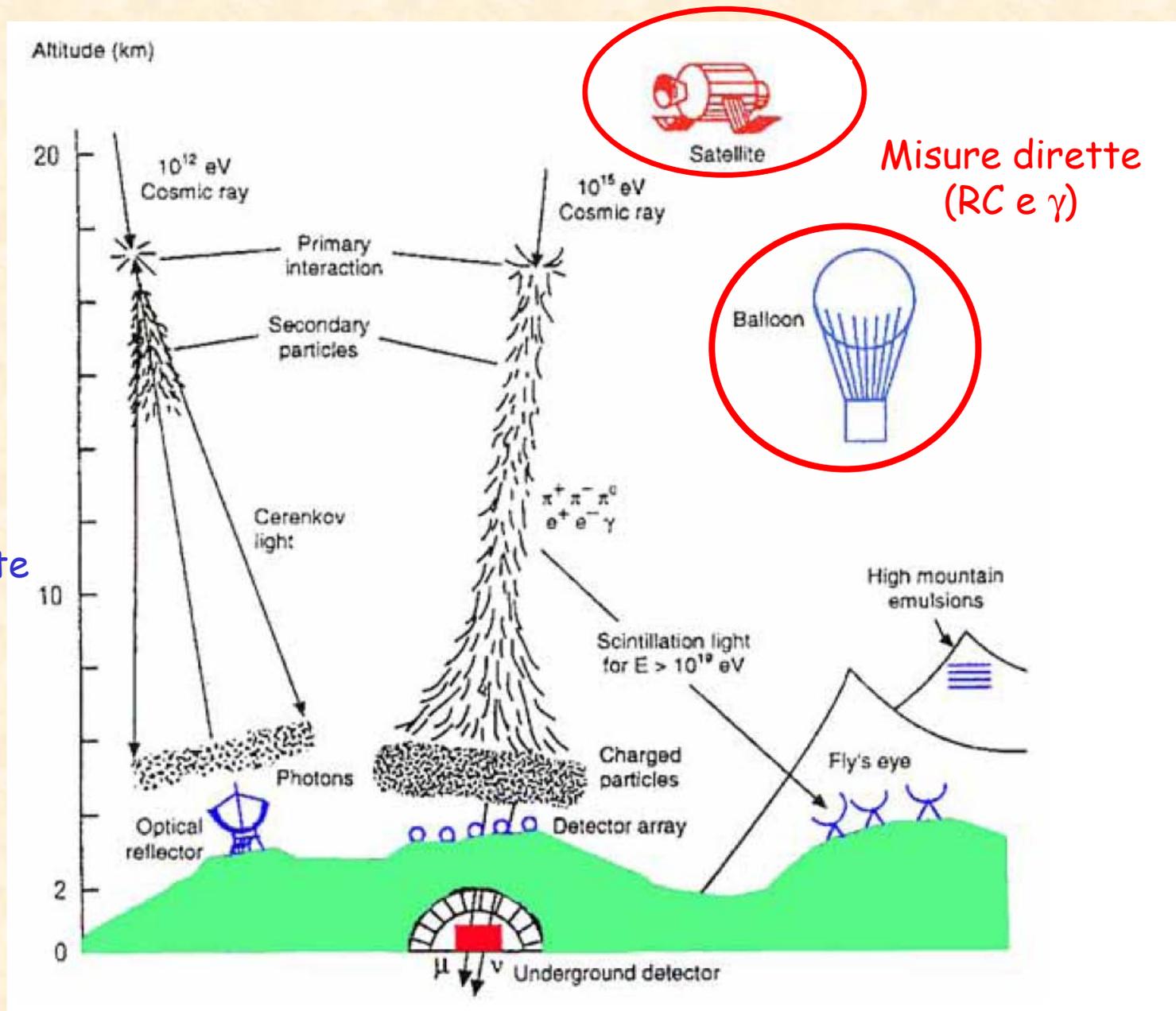
Fisica dei γ

Range di energia: 10 MeV - 1 TeV



- Mappa del cielo
- Active Galactic Nuclei
- Isotropic Diffuse Background Radiation
- La fase finale dell'evoluzione stellare:
 - Stelle a neutroni/Pulsars
 - Buchi Neri
- Produzione dei RC carichi:
 - Identificazione dei siti e dei meccanismi di produzione
- Sorgenti gamma non identificate
- Gamma-Ray Bursts
- Materia oscura
- Fisica solare
- ???

Misure indirette



Palloni/Satelliti

Palloni:

Altezza ~ 40 km

→ ~ 5 g/cm² di atmosfera residua

Durata del volo limitata (effetto giorno/notte)
(6-40 ore)

Osservazioni 'locali'

Long duration (40 giorni)

Grosse masse (4 ton di carico utile)

Riutilizzo del payload

Costo contenuto

Satelliti:

Altezza > 300 km

→ ~ 0 g/cm² di atmosfera residua

3 anni di presa dati

Osservazione di tutto il cielo

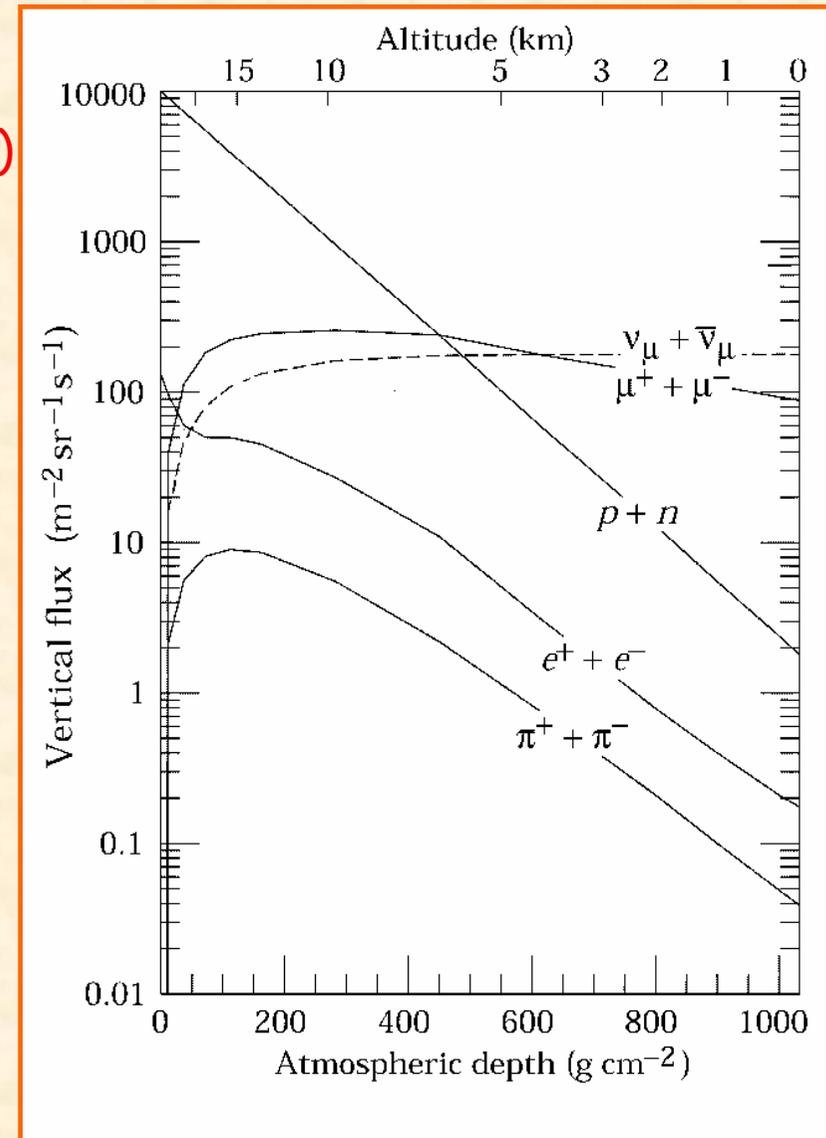
Molte orbite possibili

Massa payload limitata

Potenza limitata

Complessita'

Costo elevato



Che misure e' necessario fare?

Raggi cosmici carichi

1. Impulso
2. Z
3. Identificazione (e^- /anti-p, e^+ /p ...)
4. Identificazione isotopica

γ

1. Energia
2. Direzione di arrivo
3. Tempo di arrivo

Per fare queste misure sono necessarie le tecniche 'raffinate' tipiche degli esperimenti agli acceleratori:

1. Combinazione di piu' sottorivelatori
2. Spettrometri magnetici
3. Calorimetri
4. TRD
5. Cherenkov
6. TOF
7. Trigger
8. Veto
9. ...

Ma: attenzione all'ambiente 'spaziale'!!!!

Le tecnologie di rivelazione tipiche della fisica delle particelle devono tenere conto delle problematiche collegate all'ambiente 'spaziale' (o alta atmosfera)

- temperatura
- dissipazione termica
- affidabilità e ridondanza
- effetti delle radiazioni
- vibrazioni
- vuoto
- consumi ridotti
- DAQ speciale (SEU, consumi, memoria codificata, bus speciali etc)
- ...

- Le tecnologie devono essere 'estremizzate'
- Il contributo degli enti di ricerca (e in particolare dell'INFN) e' stato determinante in questo passaggio
- Ricadute tecnologiche estremamente significative

Alcuni esempi...

Vibrazioni

Problemi:

Fase di lancio: densita' spettrale di potenza con $a_{\text{rms}} \sim 10 \text{ g}$ (minuti)

Distacco stadi: shocks $\sim 50 \text{ g}$ (msec)

Apertura paracadute e ricaduta a terra (Palloni)

Soluzioni:

Progettazione dedicata (FEM)

Scelta dei materiali

Alzare la 1^ frequenza di risonanza ($> 100 \text{ Hz}$) e abbassare Q

Test di vibrazione e shocks (+ricerca di risonanze)

Produzione di piu' modelli

Termica

Temperatura esterna

Problema:

Ampio range di escursione (-40 °C, +100 °C)

Soluzioni:

Sistemi attivi di controllo (Cooling Systems)

Ambiente pressurizzato

Schermi termici

Dissipazione termica

Problemi:

Dissipazione solo per conduzione o radiazione (assenza di convezione)

Stress termici sulle strutture

Soluzioni:

Attento studio del problema

Materiali compatibili alle interfacce (conducibilita' termica simile)

Tests in camera termica

Effetti delle radiazioni

Problemi:

Total dose

Single Event Effects (Single Event Upset, Latch-up)

Componenti qualificati per lo spazio:

consumi altissimi

prestazioni limitate

costo!!!

Soluzioni:

Qualifica dei componenti 'in casa':

irraggiamento con γ (total dose)

tests su fasci di ioni pesanti (SEE)

Meccanismi di protezione hardware:

Protezione per sovracorrenti

Logica ridondata (Majority, CRC, Codici di correzione, etc.)

Sistemi ridondata (Caldo/Freddo)



A mio avviso uno
dei risultati piu'
importanti!!!

Potenza elettrica e consumi

Problemi:

Potenza limitata:

Satelliti: Pannelli solari (100 W/kg, 200 W/m²)

Palloni: Batterie al litio (200 W hr/kg)
(+ Pannelli solari per ULDB)
1 kW per 24 ore → 120 kg

Interferenza con il bus primario del satellite:

rumore

affidabilità

Soluzioni:

Riduzione dei consumi

Tecnologia CMOS

Massimizzazione dell'efficienza del sistema di alimentazione

Filtri

Gli esperimenti INFN di fisica astroparticellare

- AMS02
- Wizard/Pamela

RC carichi, $E < 1 \text{ TeV}$

- Agile
- Glast

γ

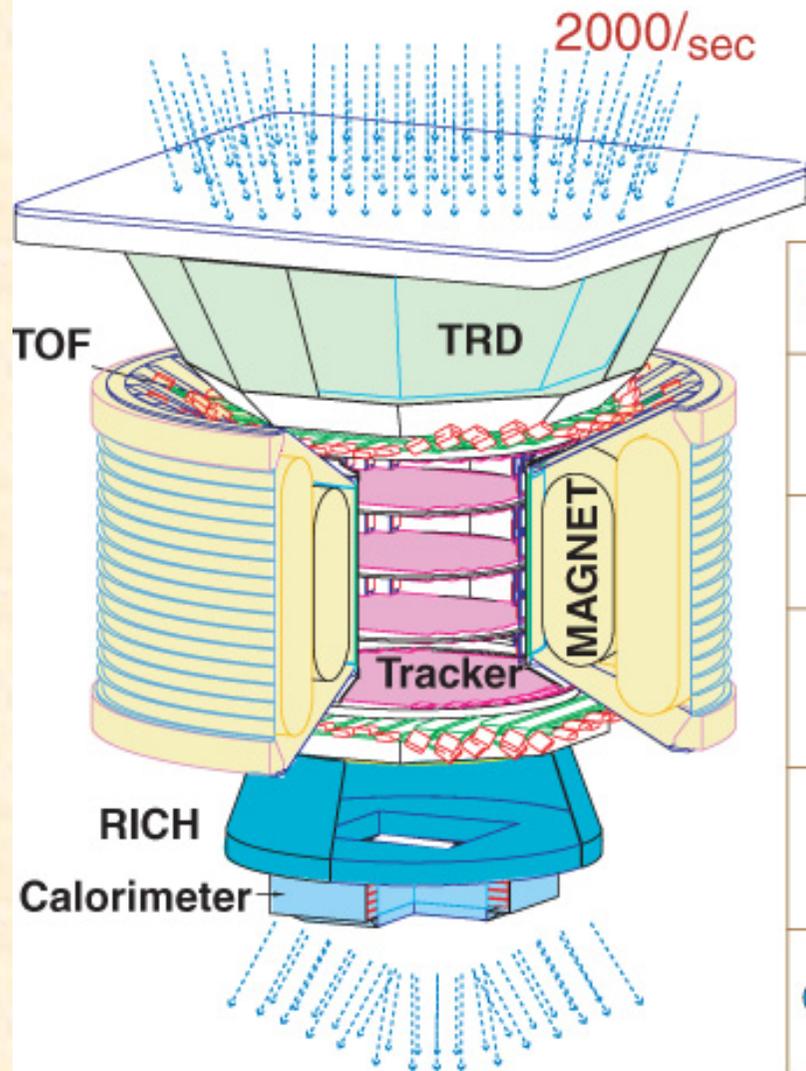
- Cream

RC carichi, $E > 1 \text{ TeV}$

(EUSO) → Tecnica completamente diversa

Per la fisica → Talk di Boezio

AMS: A TeV Magnetic Spectrometer in Space

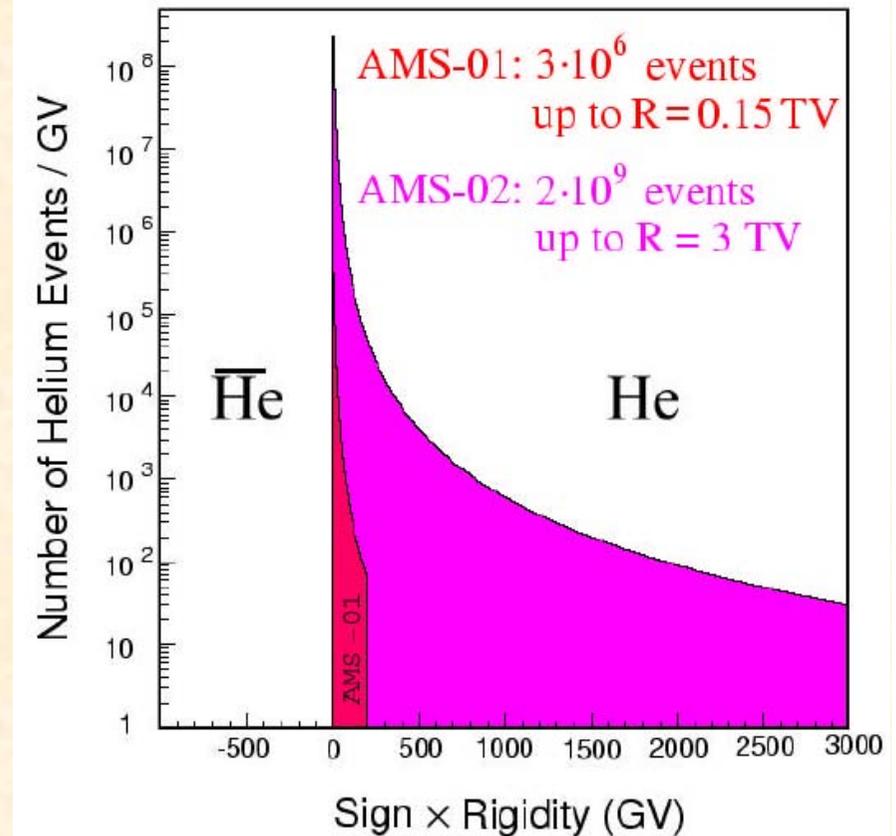


0.3 TeV	e^-	e^+	P	$\bar{\text{He}}$	γ
TRD					
TOF					
Tracker					
RICH					
Calorimeter					

y2K025 _5 Gamma

La Fisica di AMS02

- Ricerca di antimateria
- Ricerca di materia oscura
- Misure di precisione di $e^\pm, \gamma, p^\pm, {}^3, {}^4\text{He}, \text{B}, \text{C}, {}^9, {}^{10}\text{Be}$, elementi con $Z < 25$ (GeV – TeV range)
- (Astrofisica dei γ)



- ISS nel 2007/2008 (Problema dello Shuttle!)

- Accettazione $0.5 \text{ m}^2 \text{ sr}$

Problema termico (day/night: $\Delta T \sim 100^\circ\text{C}$)

Vibrazioni ($6.8 g_{\text{rms}}$)

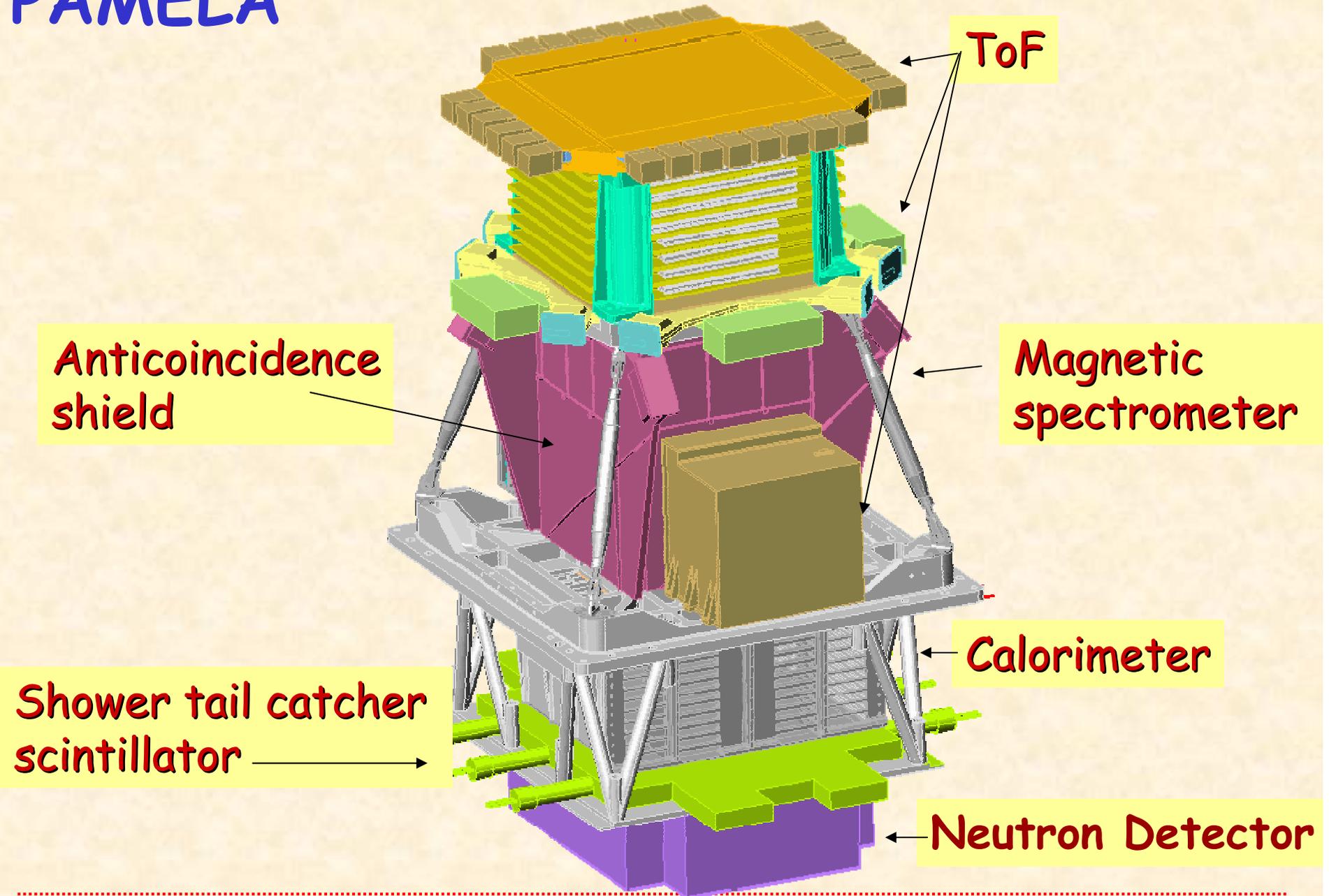
Limitazioni : **Peso** (6700 kg(!!!)) e **Potenza** (2000 W)

Vuoto: $< 10^{-10}$ Torr

Affidabile per piu' di 3 anni - Ridondanza

Radiazione: Flussi attesi $\sim 1000 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

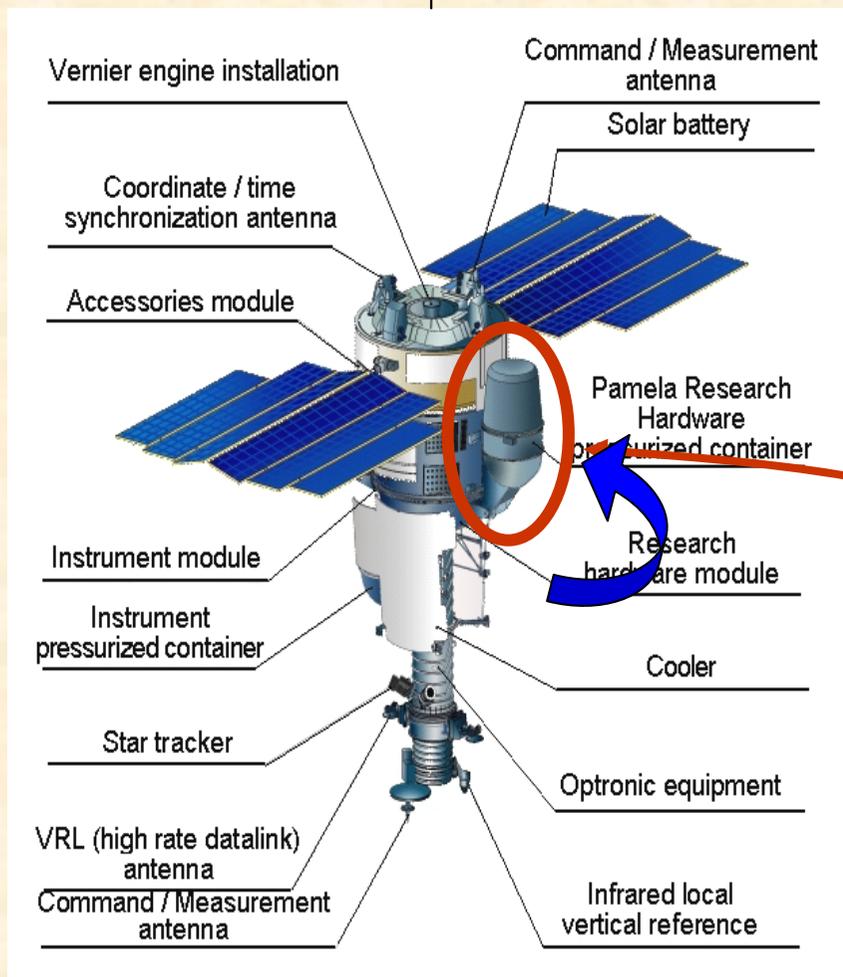
PAMELA



La fisica di PAMELA

PAMELA misurerà:

- Antiprotoni 80 MeV - 190 GeV
- Positroni 50 MeV - 270 GeV
- Elettroni fino a 400 GeV
- Protoni fino a 700 GeV
- Elettroni/positroni fino a 2 TeV
- Nuclei leggeri ($Z < 6$) fino a 200 GeV/n
- Antinuclei (sensibilità 10^{-7} in anti-He/He)



- Soyuz-TM da Baikonur
- Modello di volo in volo per la Russia!!!
- Lancio nel 2005
- Vita > 3 anni
- Cont. press.
- Potenza 100 W
- Pes. 2000 kg
- Accel. 10 cm² sr
- Vibraz. 9 g_{rms}

Gamma-ray Large Area Space Telescope

GLAST

- High-energy gamma-ray observatory con 2 strumenti
 - Large Area Telescope (LAT)
 - Gamma-ray Burst Monitor (GBM)
- Veicolo: Delta-2
- Orbita: 550 km, 28.5° inclinazione
- Lancio: febbraio 2007
- Vita: > 5 anni

GLAST Gamma-Ray Observatory:

- LAT > 20 MeV
- GBM 20 keV → 20 MeV



GLAST LAT Overview: Design

Si Tracker

8.8×10^5 channels
 <160 Watts
 16 tungsten layers
 36 SSD layers
 Strip pitch = 228 μm
 Self triggering



ACD

Segmented
 scintillator tiles
 0.9997 efficiency
 Minimal self veto

Grid (& Thermal Radiators)

CsI Calorimeter

Hodoscopic array
 $8.4 X_0$ 8 x 12 bars
 2.0 x 2.7 x 33.6 cm
 ⇒ cosmic-ray rejection
 ⇒ shower leakage
 correction

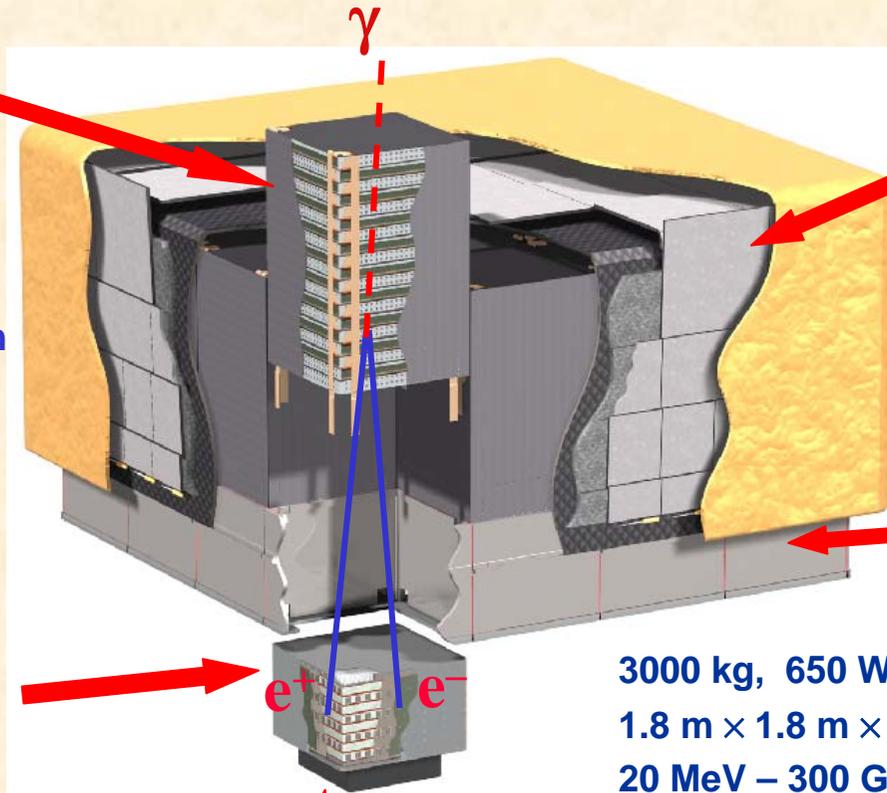


3000 kg, 650 W (allocation)
 1.8 m x 1.8 m x 1.0 m
 20 MeV – 300 GeV

**Mega-channel particle-physics detector
in orbit:**

- ⇒ Low power (<650 W)!
- ⇒ Extensive data reduction on orbit!
- ⇒ No maintenance!

Data  acquisition



AGILE

Super Agile Mask
Super Agile Silicon plane

AntiCoincidence

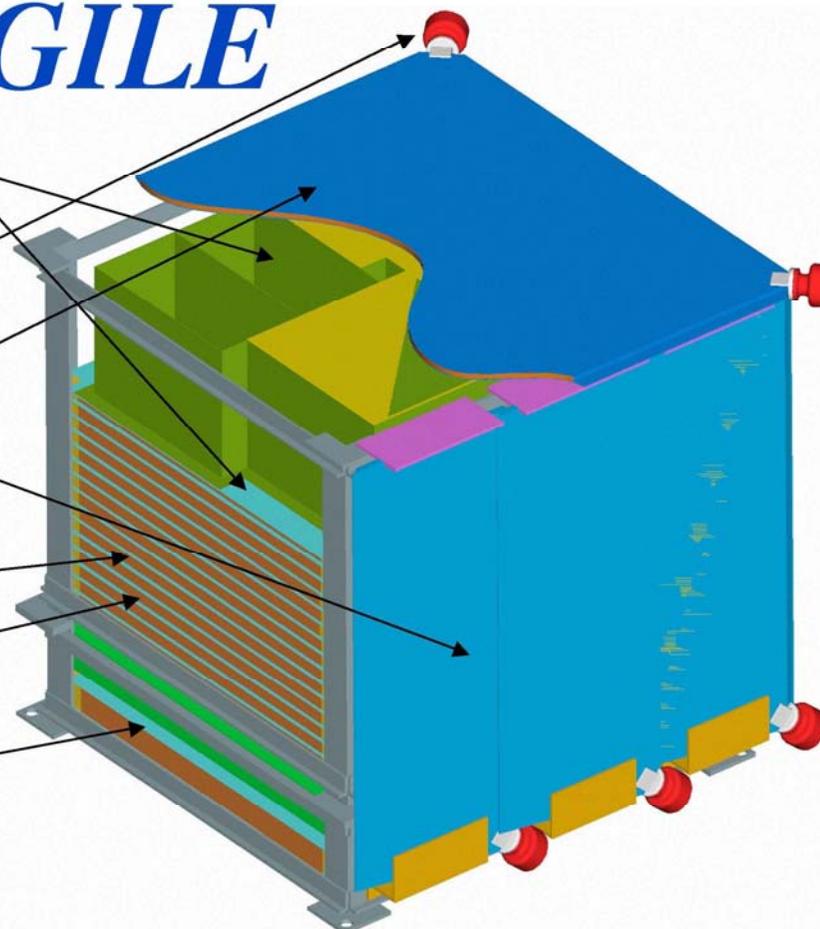
Photomultipliers
Top: 0.5cm plastic scintillator
Lateral: 12 panels 0.6 cm

Tracker , 14 X/Y planes

W 0.07 X₀
X/Y plane, 121 mm pitch
distance between planes 1.6cm

Calorimeter

1.5 X₀ CsI Calorimeter
1.4*2*40 cm³ bars



Rivelazione simultanea di γ e X (Super Agile Mask)!!!

Orbita equatoriale 550 km, 2006

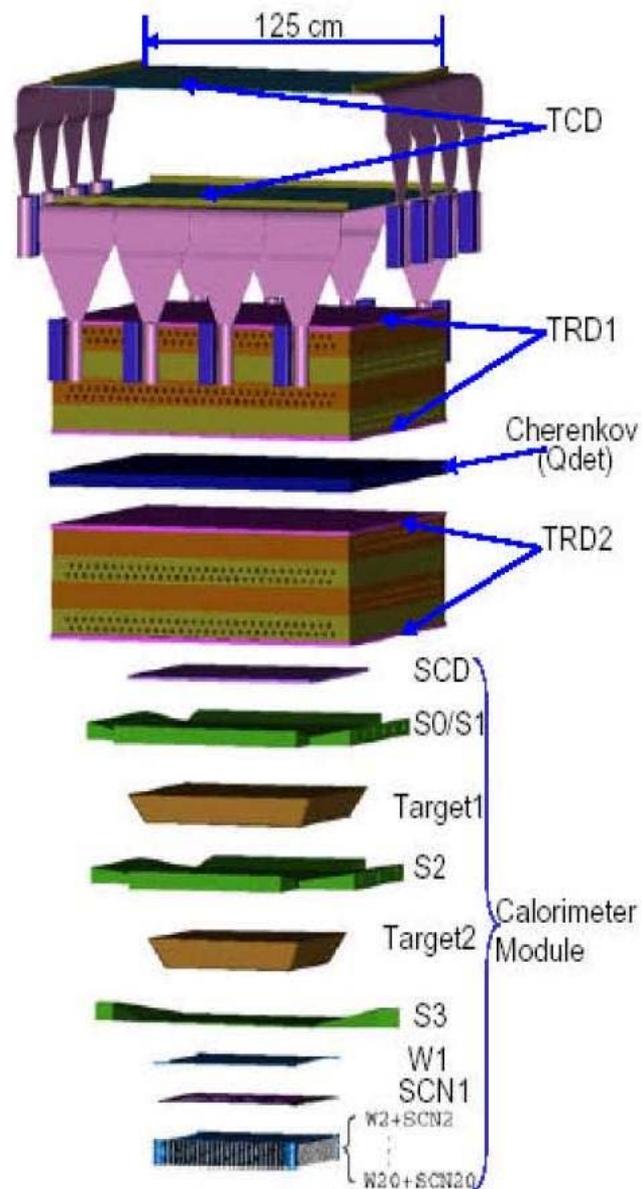
Massa:

190 kg (120 kg payload)

Potenza

135 W (46 W payload)

CREAM



Misura diretta di E (1 TeV \rightarrow 1000 TeV)
Misura di Z (p \rightarrow Fe)

Volo di 42 giorni!!!!

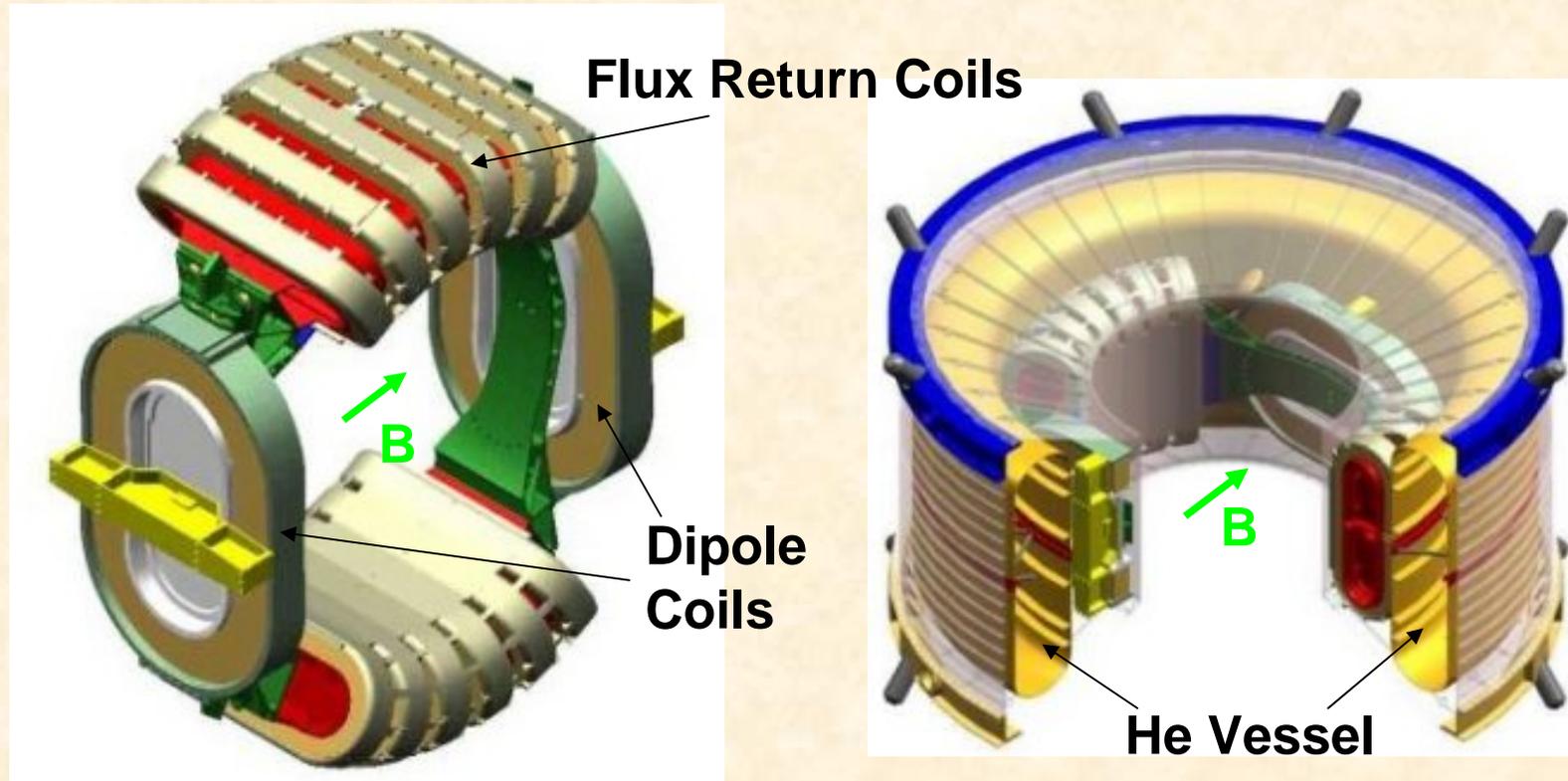
Cosmic Ray Energetics And Mass



I punti di forza dei vari esperimenti...

(mio personale parere!)

Il magnete Superconduttore di AMS02



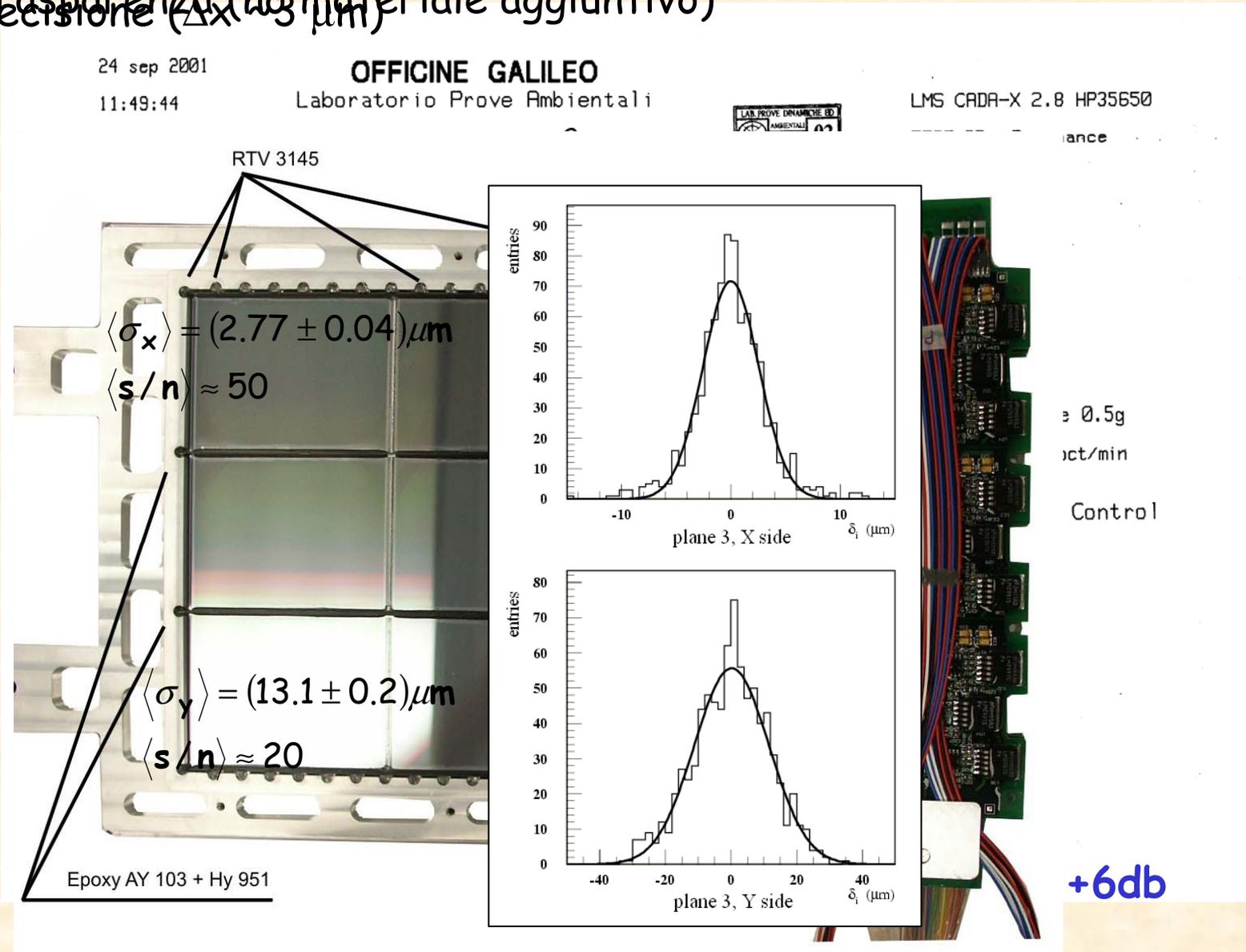
2500 Litri di Elio superfluido
Sfida tecnologica!!

$B_{max} \sim 0.9 \text{ T}$
Analyzing power
 $BL^2 = 0.8 \text{ Tm}^2$

I sistemi traccianti...

Pamela:

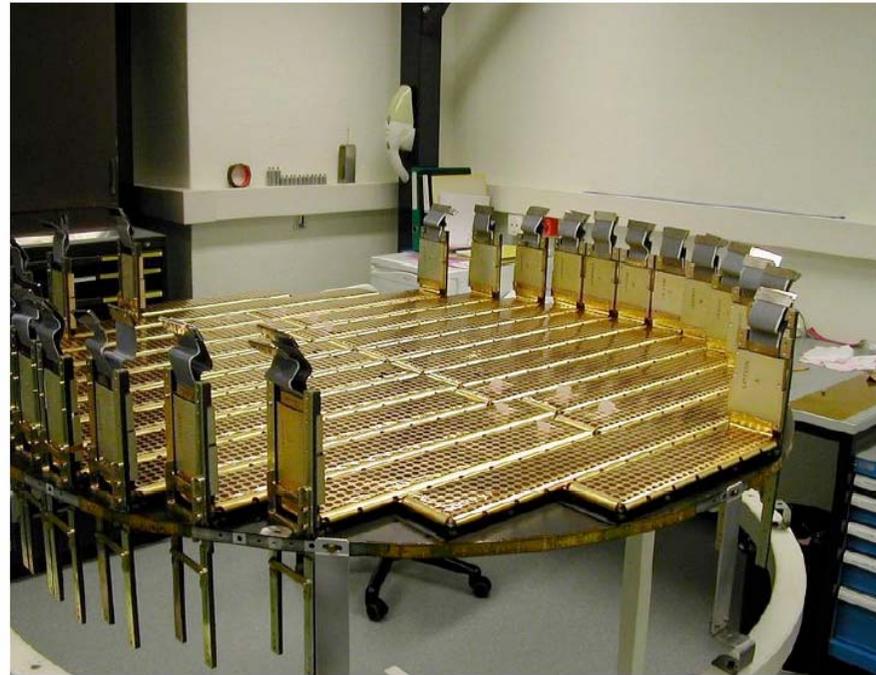
Trasparenza (no materiale aggiuntivo)
Precisione ($\Delta x = 3 \mu m$)



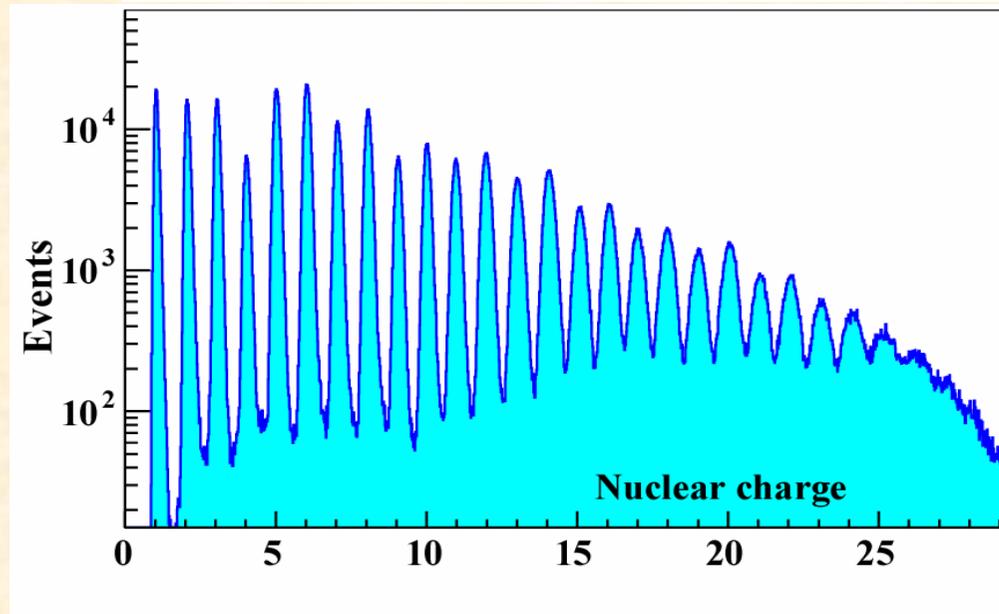
AMS02:

Dimensioni $\sim 8 \text{ m}^2$

MDR $\sim 2 \text{ TV/c}$



Discriminazione in Z
fino al Fe



GLAST

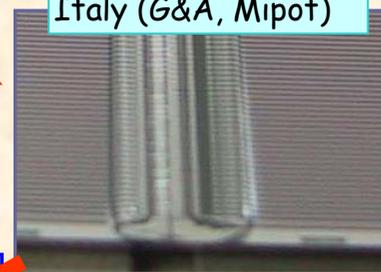
Module Structure Components
 SLAC: Ti parts, thermal straps,
 fasteners.
 Italy (Plyform): Sidewalls

SSD Procurement, Testing
 Japan, Italy (HPK)

SSD Ladder
 Assembly
 Italy (G&A, Mipot)

Veto counters

gamma



Converters

Position-sensitive
 detectors

2592

Tracker Module
 Assembly and Test
 Italy (Alenia Spazio)

Tray Assembly and
 Test
 Italy (G&A)

e^- e^+

342

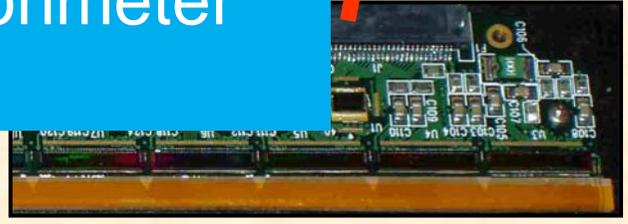
342

Calorimeter

648

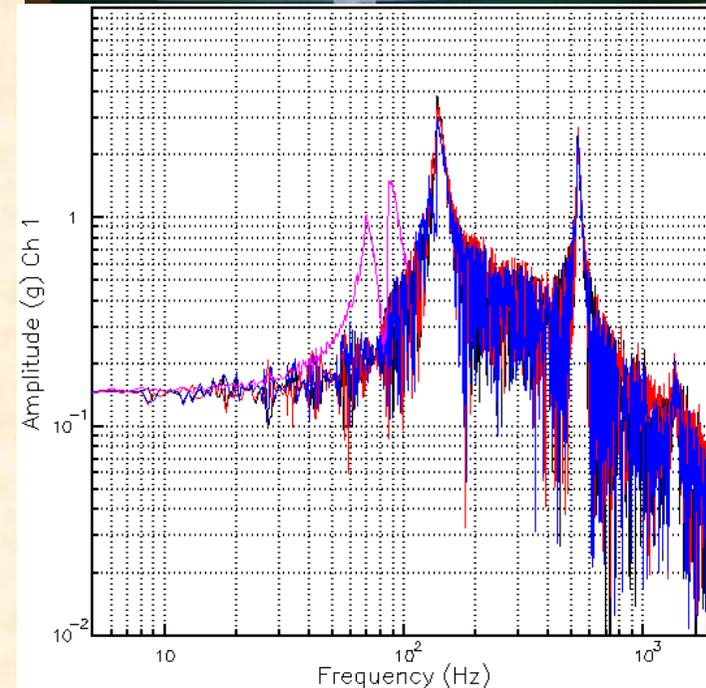
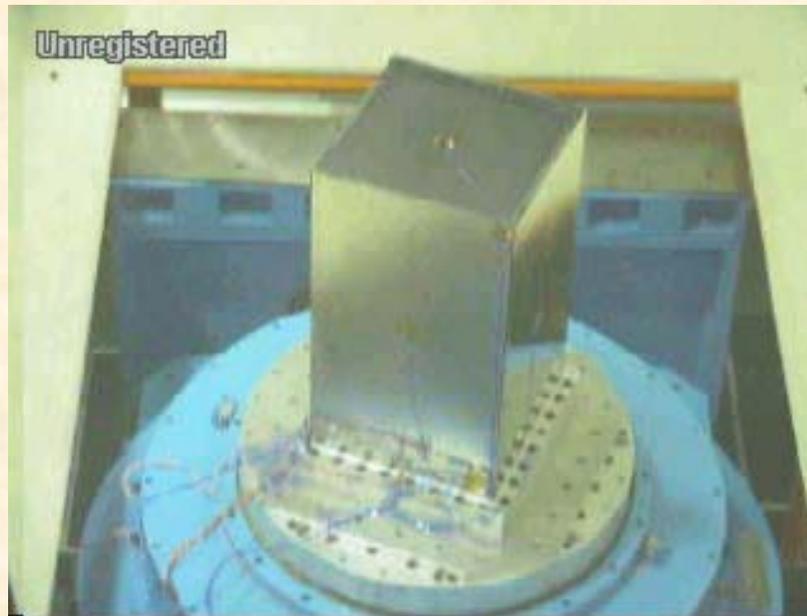
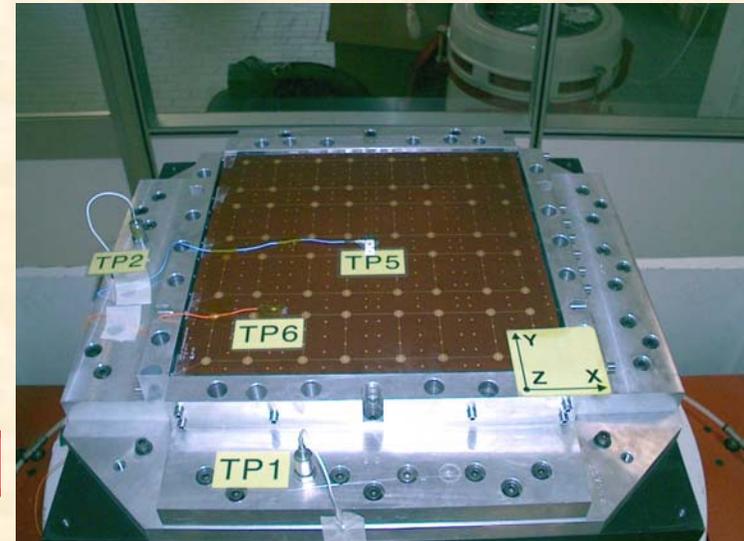
Readout Cables
 UCSC, SLAC (Parlex)

Composite Panel, Converters,
 and Bias Circuits
 Italy (Plyform): fabrication
 SLAC: CC, bias circuits, thick
 W, Al cores



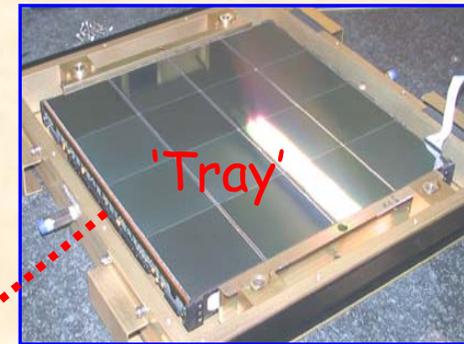
GLAST: Tests di vibrazione

Run #	Test Description	Input specifications
1	Low Level Signature Sweep	5-2000Hz; 0.15g
2	<i>Random Vibration (-6 dB)</i>	<i>20 – 2000 Hz</i>
3	Low Level Signature Sweep	5-2000Hz; 0.15g
4	<i>Random Vibration (- 3 dB)</i>	<i>20 – 2000 Hz</i>
5	Low Level Signature Sweep	5-2000Hz; 0.15g
6	<i>Random Vibration (Full level)</i>	<i>20 – 2000 Hz</i>
7	Low Level Signature Sweep	5-2000Hz; 0.15g

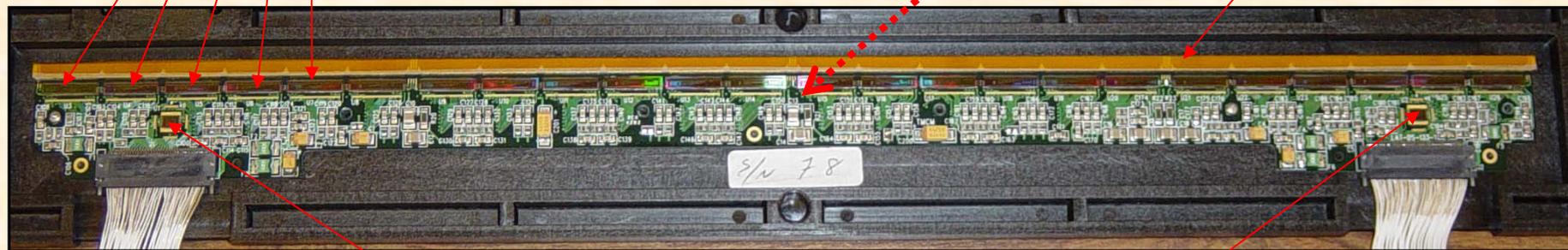


Elettronica di Front-End

- Two custom ASICs implemented by Agilent 0.5 μ m process
 - GTFE: 64-channel amplifier-discriminator, 24/layer
 - GTRC: read-out controller, 2/layer
- Power consumption
 - Analog: 1.5V and 2.5V lines,
 - 120mW/layer = 78 μ W/channel
 - Digital: 2.5V,
 - 126mW/layer



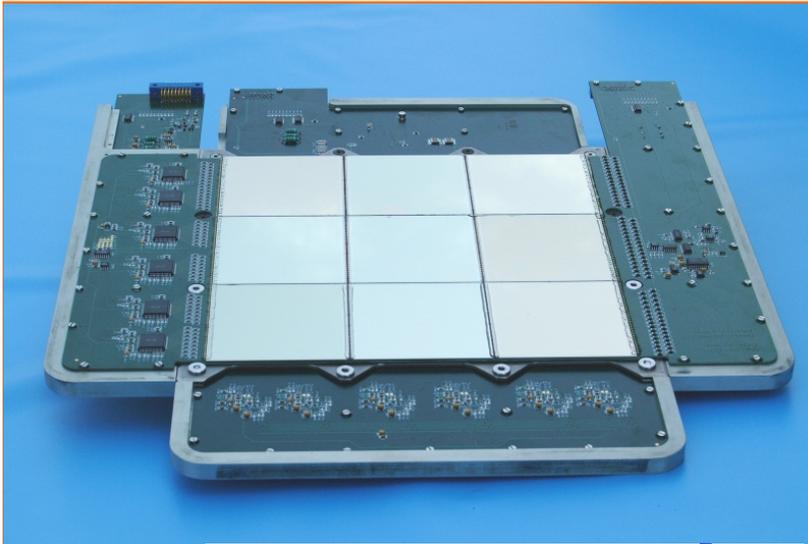
GTFE (Front-End) ASICs: 24
64 channels/chip * 24 = 1536 channels/layer



GTRC (Read-out Controller) ASICs: 2

I calorimetri...

Pamela



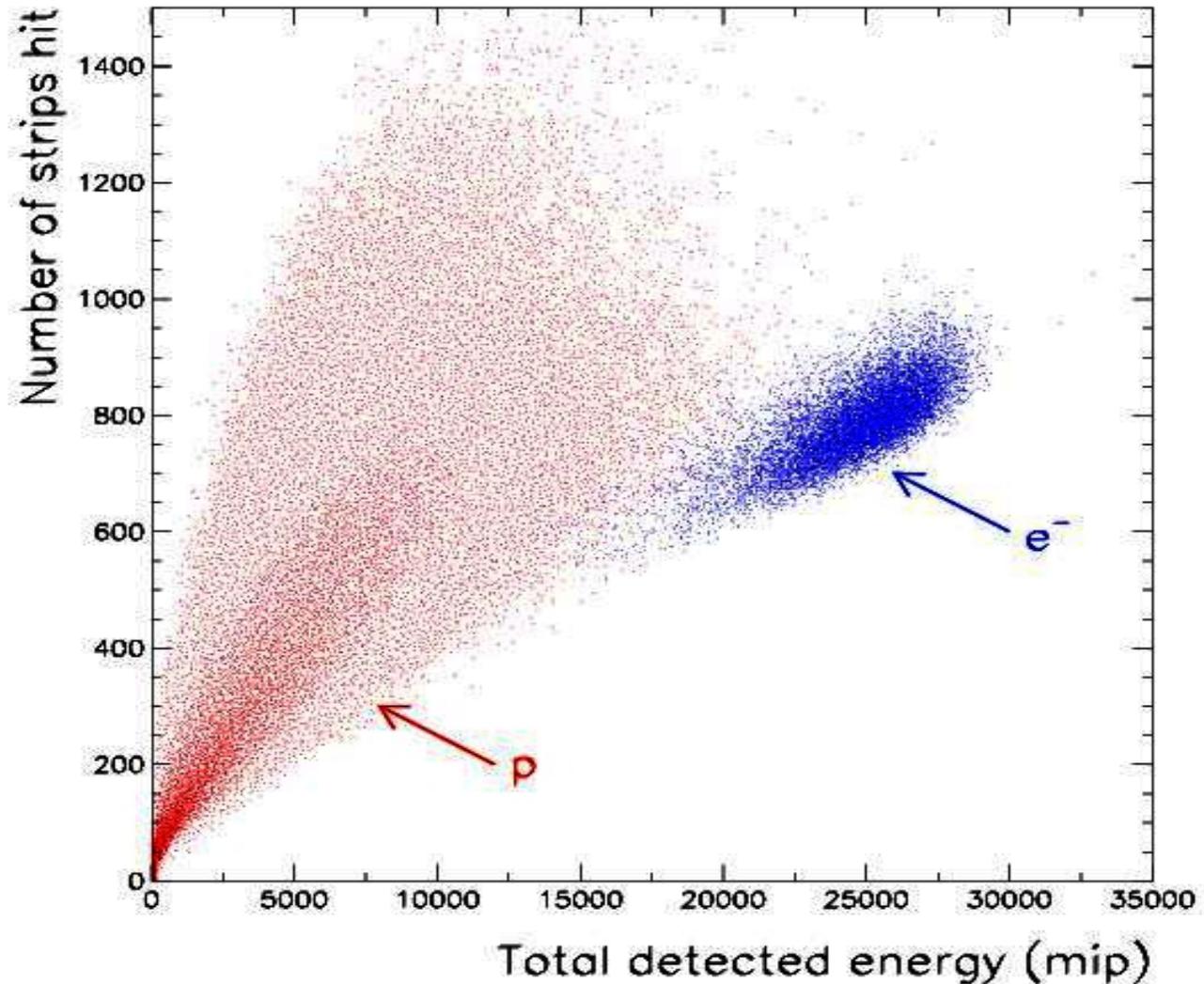
1 piano del calorimetro



- **22** piani ognuno con un layer di tungsteno (2.6 mm) e **2** layers di rivelatori al silicio (spessore **380** μm)
- **96** strips di **2.4** mm per ogni layer di silicio
- Strips ortogonali tra i 2 layers di ogni piano
- **16** lunghezze di radiazione (**0.6** lunghezze di interazione)
- Numero totale di canali **4224**
- Range dinamico $\approx 1 \div 1000$ mip

SPS Test
Beam Data:
p & e⁻
200 GeV/c

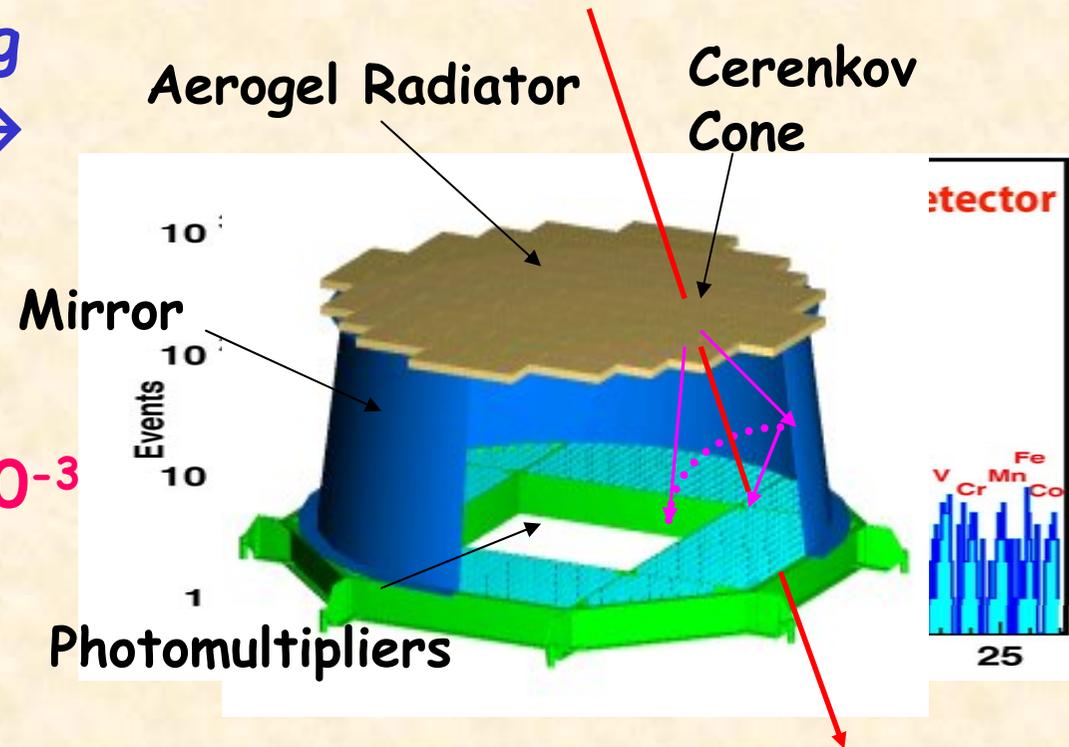
Proton rejection
factor $\cong 3 \cdot 10^4$
Electron selection
efficiency $\cong 95\%$



I rivelatori ausiliari...

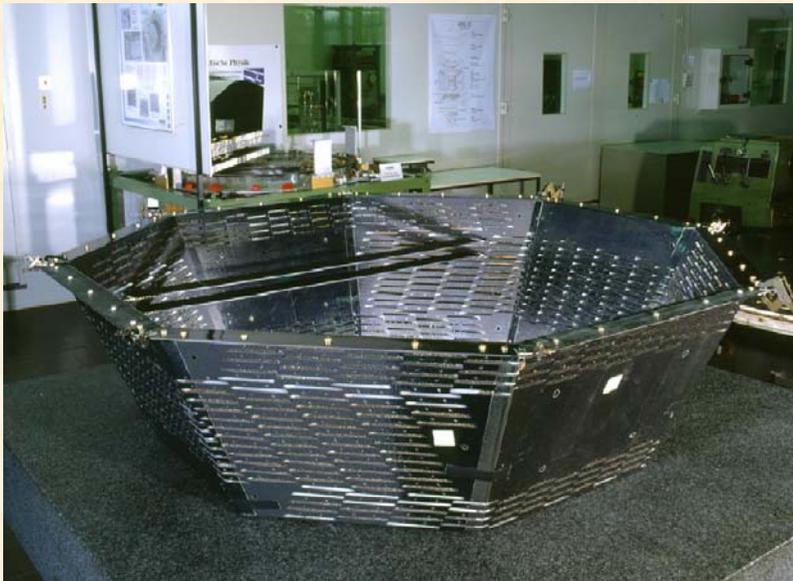
Il RICH di AMS02

- Accurate Velocity Measurements via Opening Angle of Cerenkov Cone → Isotopic Separation.
- $|Q|$ measurements up to $Z \sim 30$
- $\Delta\beta/\beta = (0.67 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}$ (test beam)
- Additional Particle Identification capability

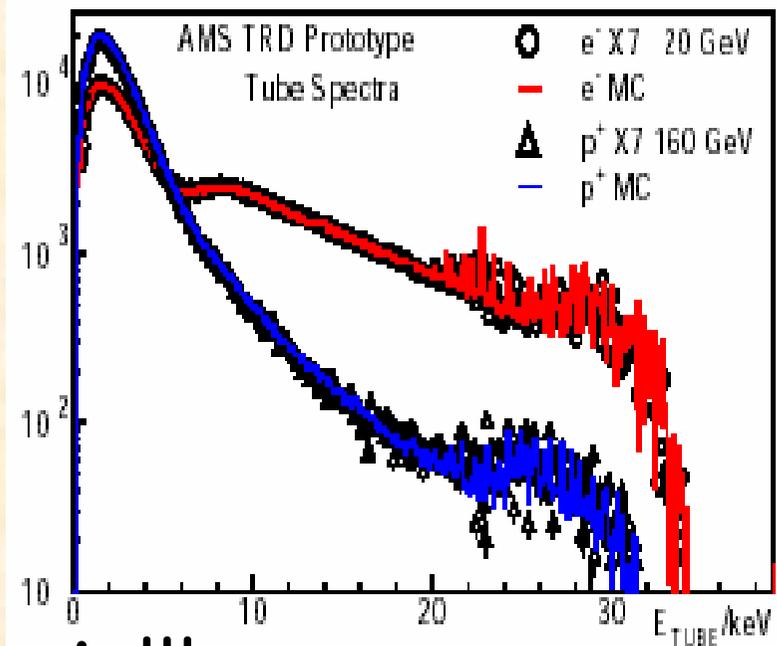


Il TRD di AMS02

- 20 layers, 328 chambers, 5248 tubes
- Mechanical Accuracy $< 100\mu\text{m}$
- Assembly in progress



CERN beamtest with TRD
prototype: proton rejection > 100
up to 250 GeV at electron
efficiency 90% reached

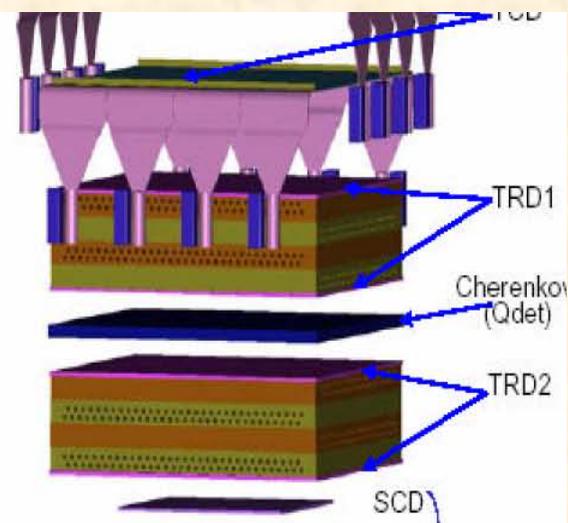


Sistema di gas nello spazio!!!

Il TRD+Cherenkov di Cream

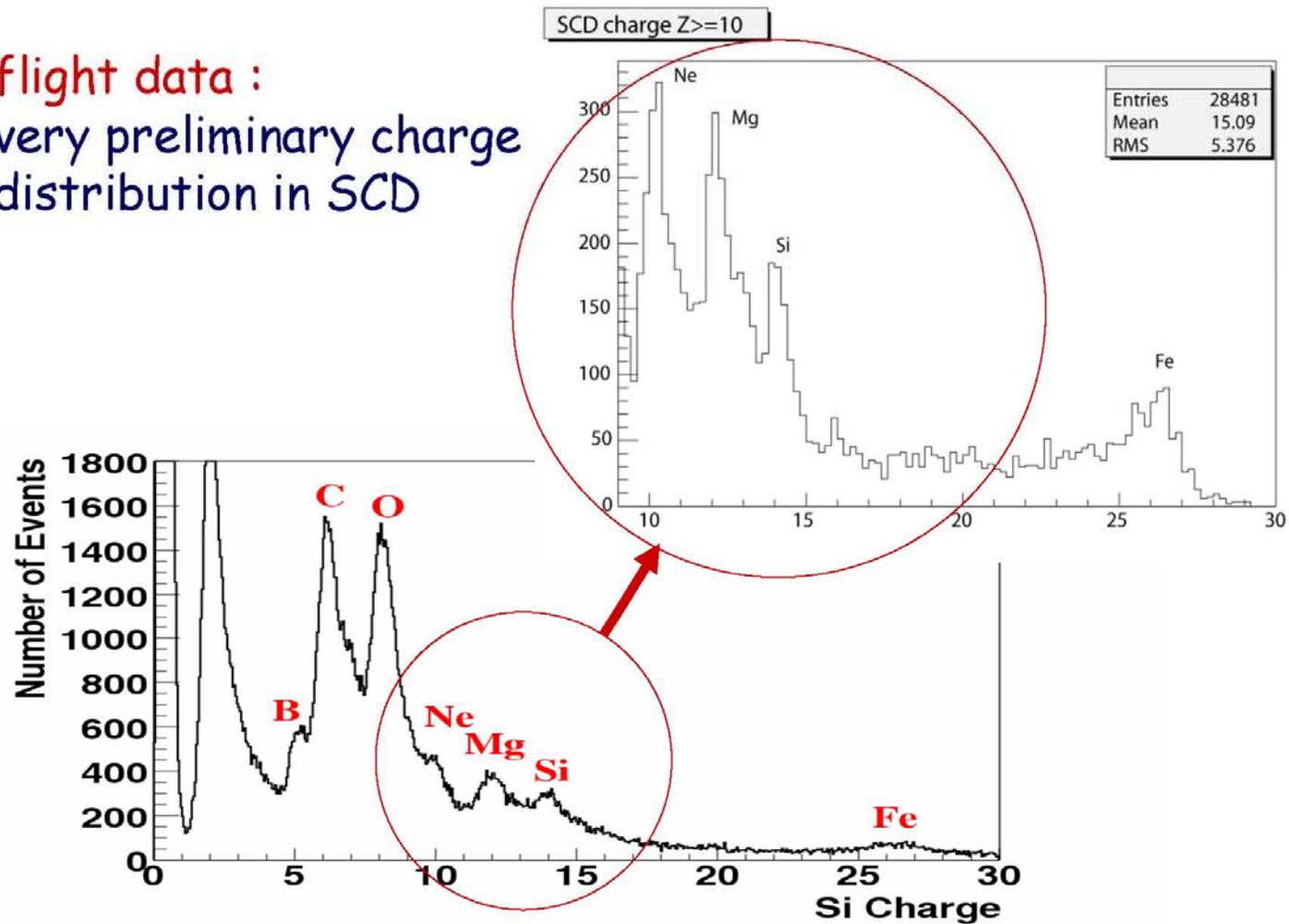
TRD :

- 2 modules (120 x 120 cm²)
- Cherenkov trigger layer to veto low energy particles
- polystyrene foam radiator ; Xenon proportional tubes
- measurement of Lorentz γ for nuclei $Z = 3$
- energy resolution at $\gamma = 3 \cdot 10^3 \sim 15\%$ (C) ; 7% (Fe)
- **in-flight cross calibration of energy scale with calorimeter**



Il Silicon Charge Detector di Cream

flight data :
very preliminary charge
distribution in SCD



Conclusioni

- Negli ultimi anni e' stato fatto un enorme lavoro di sviluppo di rivelatori per la fisica astroparticellare
- Il contributo italiano e' stato fondamentale
- Nei prossimi 3 / 4 anni si dovrebbero vedere i frutti!!!

Cream → voli ripetuti annuali

Pamela → 2005

Agile → 2006

Glast → 2007

Ams02 → 2008

Need for a high energy γ -ray detector

