

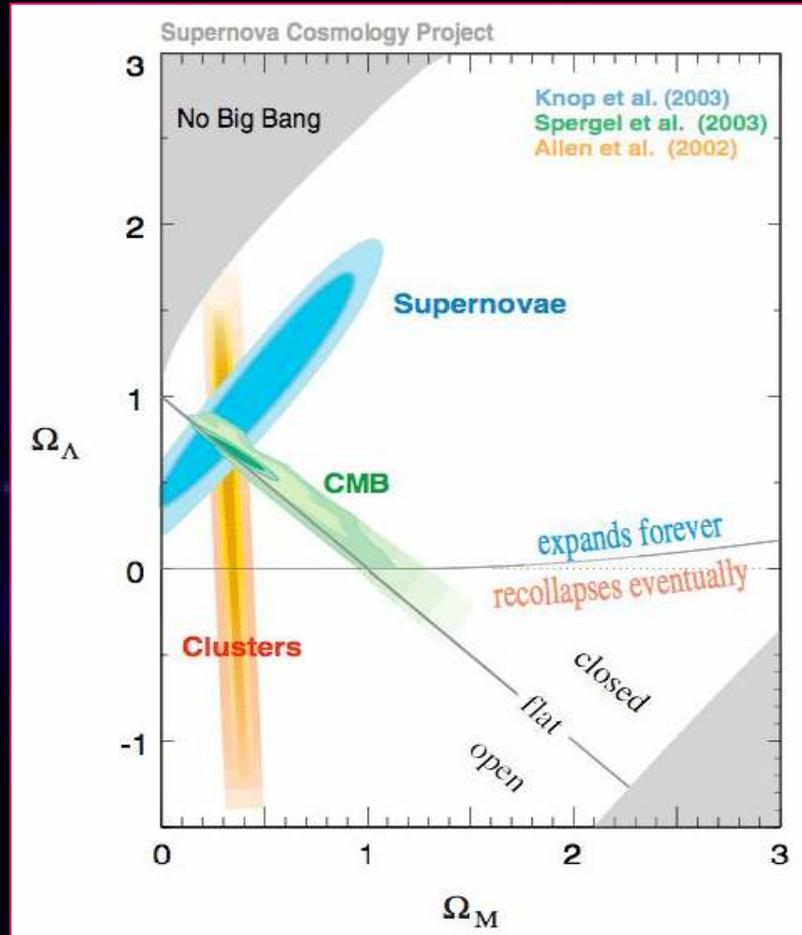


L'esperimento AMS-02  
per la ricerca di Antimateria  
e Materia Oscura  
nei Raggi Cosmici

# Sommario

- L'Universo da dieci anni a questa parte..
- Dov'è l'antimateria?
- Origine della materia oscura
- Perché misurare i raggi cosmici nello spazio?
- L'esperimento AMS
  - La radiazione di transizione
  - Come funziona un TRD
- Potenzialità di misura di AMS
- Riposo: tour fotografico

# Cosmologia di precisione



*Strutture su larga scala*  
(SSDS, ...)

$$\Omega_m = 0.25 - 0.3$$

*Spettro della radiazione di fondo cosmico di microonde*

(WMAP, BOOMERanG)

Universo piatto ( $\Omega_{\text{tot}} = 1$ )

$$\Omega_m \approx 0.25 \rightarrow \Omega_\Lambda > 0$$

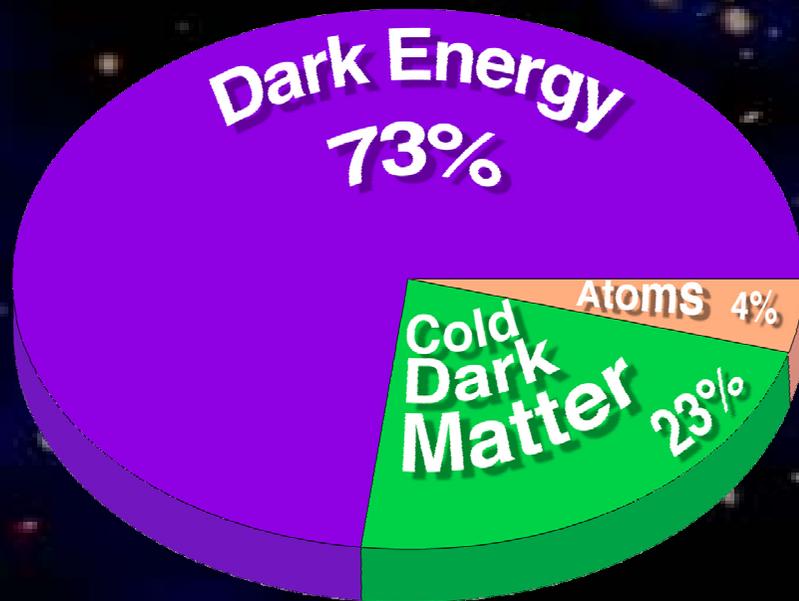
*SuperNovae di tipo Ia*

(HUBBLE)

Espansione accelerata

$$\Omega_\Lambda > 0$$

# Cosmologia di precisione



*Strutture su larga scala*  
(SSDS, ...)

$$\Omega_m = 0.25 - 0.3$$

*Spettro della radiazione di fondo cosmico di microonde*  
(WMAP, BOOMERanG)

**Universo piatto ( $\Omega_{\text{tot}} = 1$ )**

$$\Omega_m \approx 0.25 \rightarrow \Omega_\Lambda > 0$$

*SuperNovae di tipo Ia*  
(HUBBLE)

**Espansione accelerata**

$$\Omega_\Lambda > 0$$

# Il modello standard cosmologico

*dice che viviamo in un Universo*

- piatto, omogeneo ed isotropo su larga scala
- composto di:
  - Radiazione e materia ordinaria → 4.4 %  
*elettroni, protoni, neutroni, fotoni e neutrini*
  - Materia oscura fredda → 23 %  
*di cui si sa poco*
  - Energia oscura → 73 %  
*di cui si sa ancora meno*
  - Antimateria <  $10^{-6}$  volte la materia  
*che dovrebbe esserci ma non si sa dove sia*
- con galassie e strutture su larga scala nate da piccolissime fluttuazioni adiabatiche delle distribuzioni di materia ed energia

# Dov'è l'antimateria?

L'universo che ci circonda è completamente composto di materia: dalla teoria del big-bang ci si aspetterebbero uguali abbondanze per materia ed antimateria ma non è così (**asimmetria barionica**)

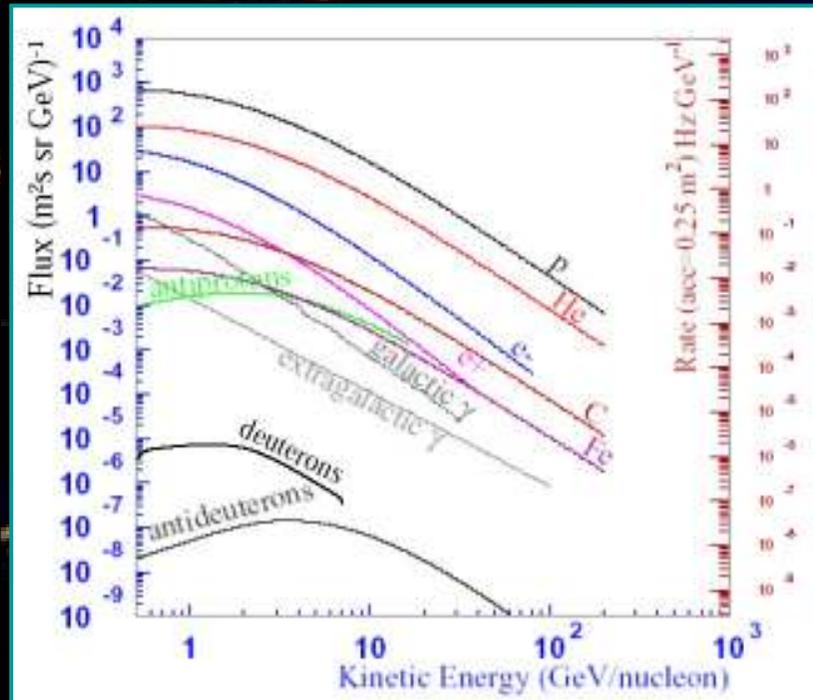


Si possono immaginare meccanismi per cui l'antimateria sia scomparsa (violazione di CP durante la bariogenesi)

oppure

l'antimateria potrebbe essere migrata in altre zone dell'universo e trovarsi in antigalassie ed antistelle lontane

# Antimateria nello spettro dei raggi cosmici



Antiparticelle sono prodotte nelle collisioni tra particelle di alta energia e ci giungono come raggi cosmici:

$$\phi(e^+) / \phi(e^-) \sim 10^{-1} \text{ a } 10 \text{ GeV}$$

$$\phi(p) / \phi(p) \sim 10^{-5} \text{ a } 10 \text{ GeV}$$

Un **nucleo di antielio** ha invece una probabilità bassissima di essere prodotto nelle collisioni

⇒ osservarlo significa un'evidenza dell'esistenza di una zona di antimateria da qualche parte nell'universo

# Origine della materia oscura

Vari modelli forniscono buoni candidati per la CDM (WIMPS)

- modelli supersimmetrici che conservano la R-parità

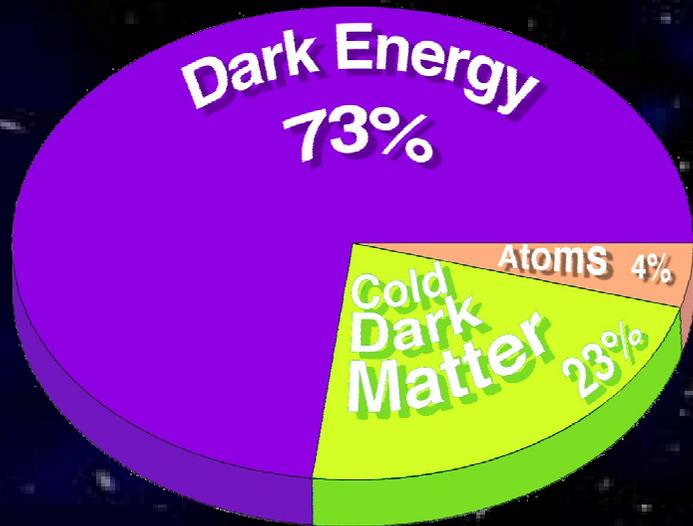
Particella supersimmetrica più leggera: **neutralino  $\chi$**

- modelli extradimensionali

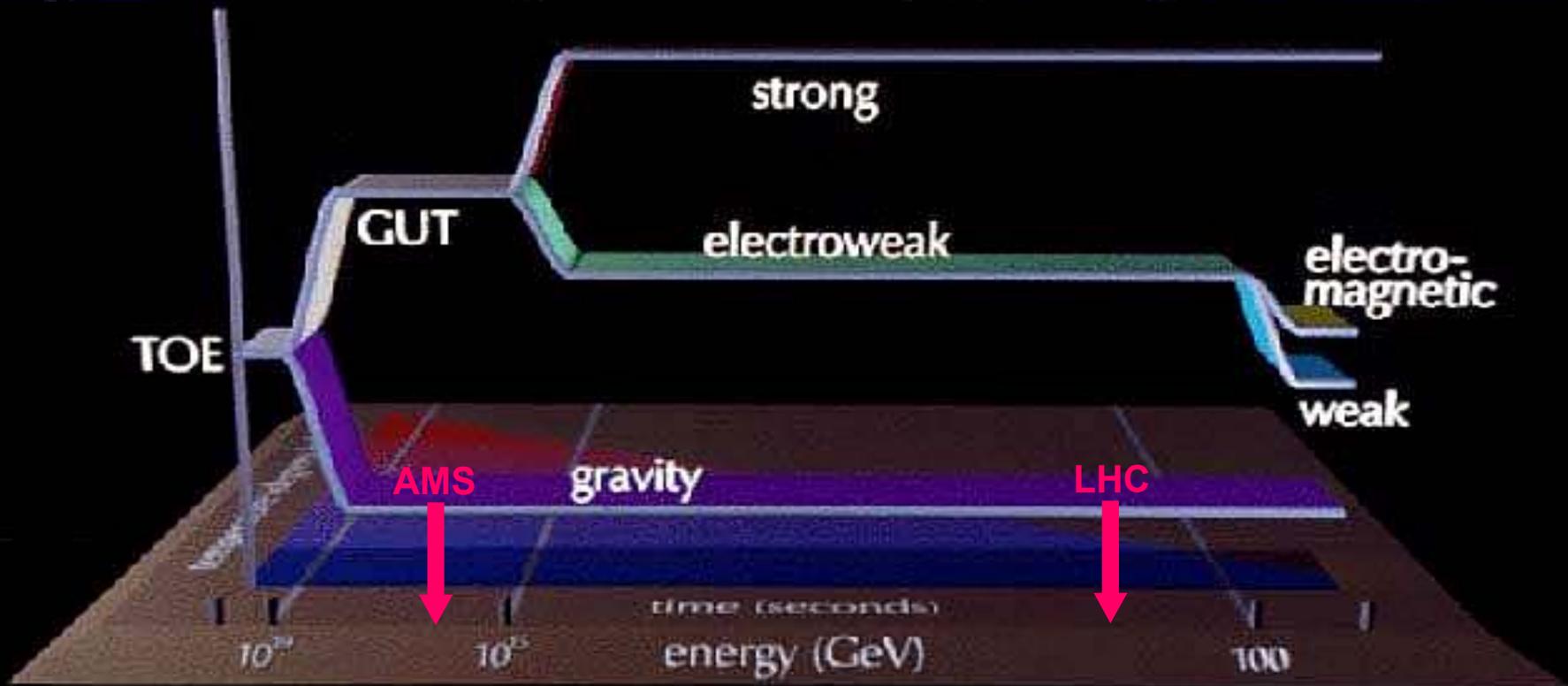
Particella di Kaluza-Klein più leggera: **modo  $n=1$  del bosone di gauge di  $U(1)$   $B^{(1)}$**

Osservabili a LHC?

- è difficile correlarli con la CDM
- parte dello spazio dei parametri non è accessibile



Però possono esistere **WIMP fossili** nell'universo, sopravvissute dall'epoca in cui la loro densità è diventata troppo bassa perché avvenissero ulteriori annichilazioni (freeze-out), a causa dell'espansione dell'universo.



# Ricerca indiretta di CDM = rivelazione dei prodotti di annichilazione di WIMP

*annichilazioni  $\chi\chi$  possono produrre:*

## Neutrini

- produzione diretta
- decadimento del W
- decadimenti di Quark pesanti
- decadimento di Pioni carichi

## $e^+$

- produzione diretta (fortemente soppressa):  $E_e = m_\chi$
- decadimento del W
- decadimenti di Quark pesanti
- decadimenti di Leptoni e Pioni carichi

## Fotoni

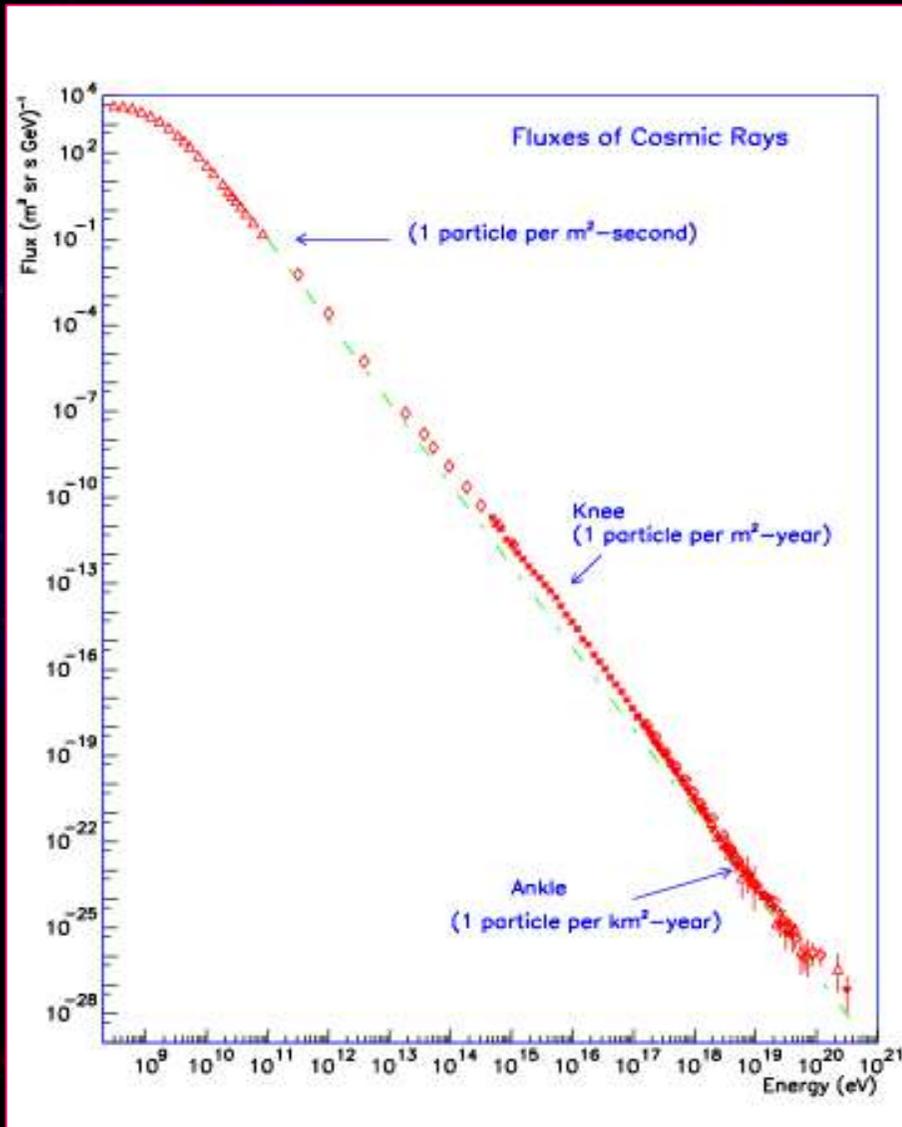
- produzione diretta :  $E_\gamma = m_\chi$
- decadimento di Pioni neutri

## $\bar{p}$

- NO produzione diretta
- adronizzazione :  $E_h \ll m_\chi$

**Canali accessibili ad AMS**

# Perché studiare i raggi cosmici nello spazio

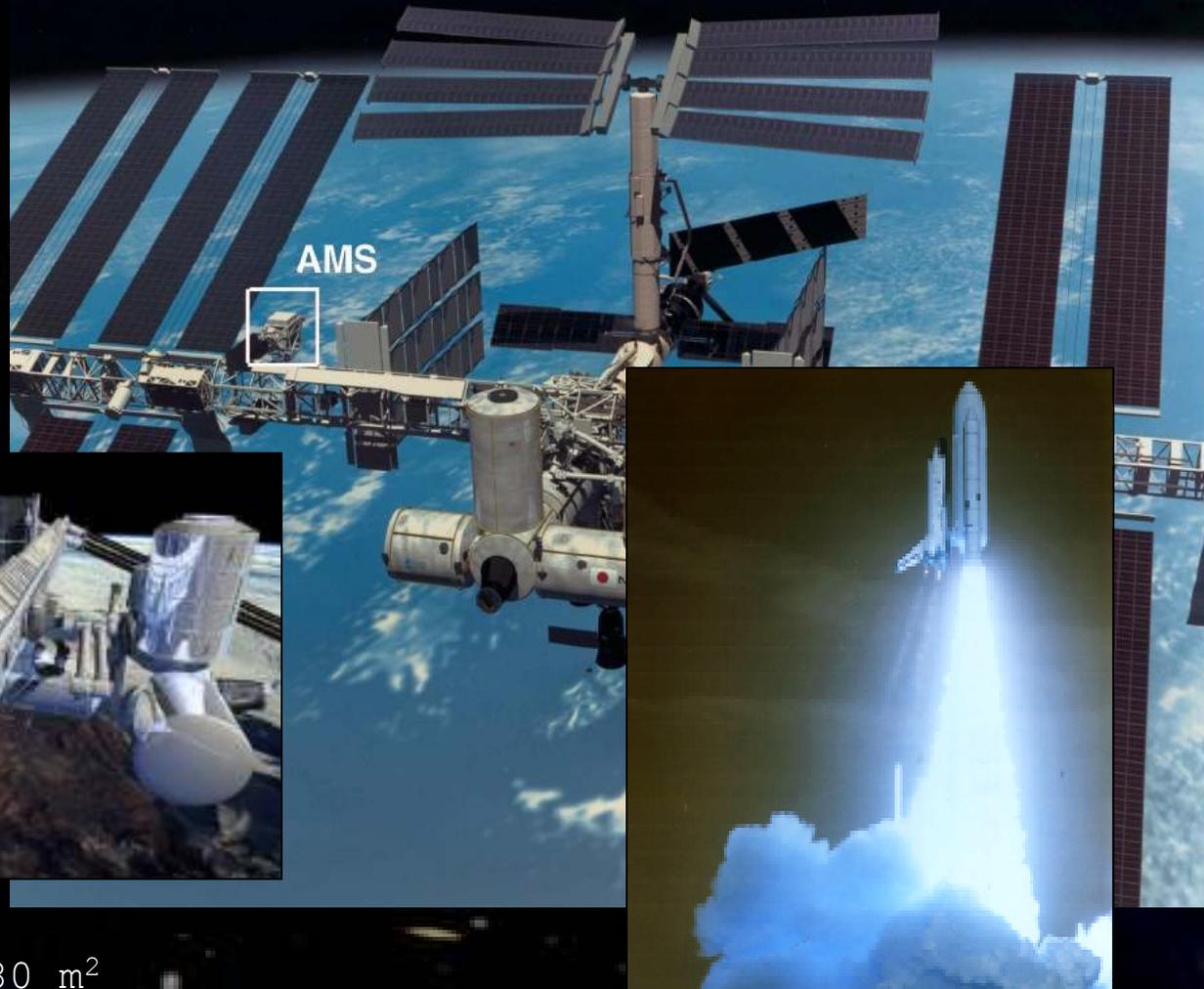


La presenza di **nuclei di antimateria** o di **prodotti di annichilazione di WIMP** si traduce in modifiche dello spettro dei raggi cosmici, a patto di avere una sensibilità sufficiente a rivelarle.

La superficie terrestre è sotto 100 Km di aria, che assorbe tutte le particelle cariche primarie.

⇒ si va nello spazio!

# La stazione spaziale internazionale



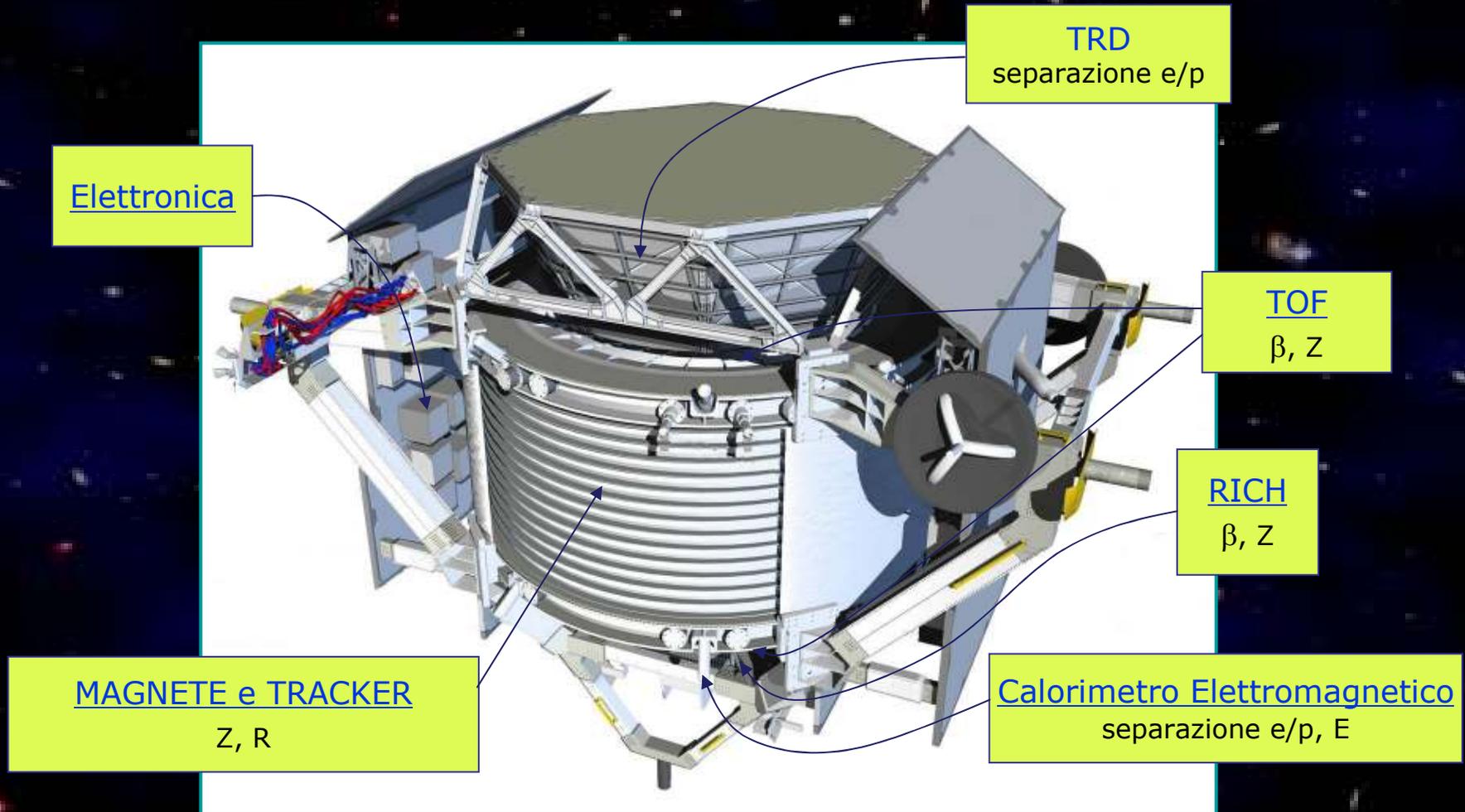
Dimensioni: 108 x 80 m<sup>2</sup>

Inclinazione 51.57°, 15.62 revs/d

DT: -150 ÷ +30 °C

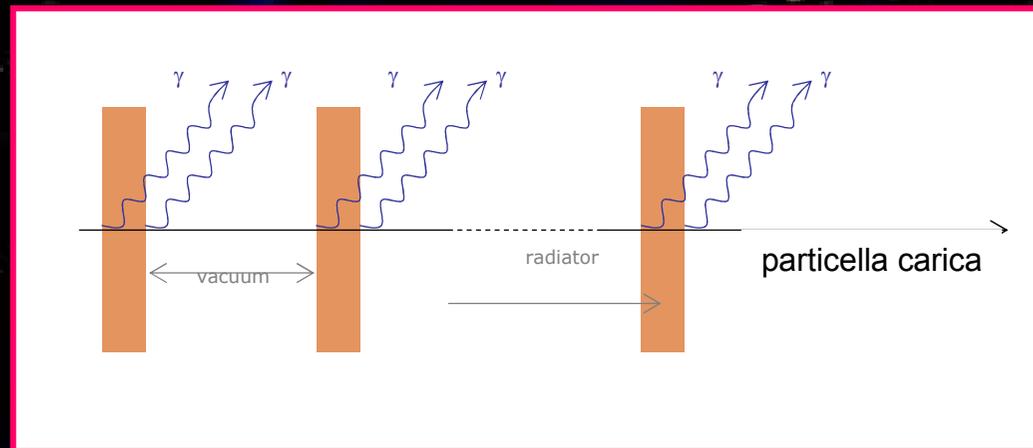
**Orbita: ellittica a 400 km**

# L' esperimento AMS-02



## Radiazione di transizione

- Radiazione elettromagnetica prodotta al passaggio di una particella **carica** e **relativistica** per l'interfaccia tra due mezzi con diversa costante dielettrica



- il fotone emesso corrisponde alla variazione classica del campo elettrico della particella carica quando cambia l'indice di rifrazione del mezzo

# Radiazione di transizione

- **Intensità** della luce emessa proporzionale al  $\gamma$  della particella (ze = carica elettrica,  $\alpha = 1/137$ ):

$$I = \frac{1}{3} \alpha z^2 \gamma \hbar \omega_p$$

con

$$\omega_p = \sqrt{\frac{ne^2}{m\epsilon_0}}$$

frequenza di plasma del mezzo (n=densità di elettroni).  
Polietilene:  $\hbar\omega_p = 20$  eV

- **Numero medio di fotoni** irradiati:

$$\langle N \rangle \approx \frac{\alpha z^2 \gamma \hbar \omega_p}{\hbar \langle \omega \rangle}$$

con energia media dei fotoni dell'ordine di 10 KeV per  $\gamma = 1000$ .

- **Distribuzione angolare** dei fotoni emessi piccata a  $\theta = 1/\gamma$

# Radiazione di transizione

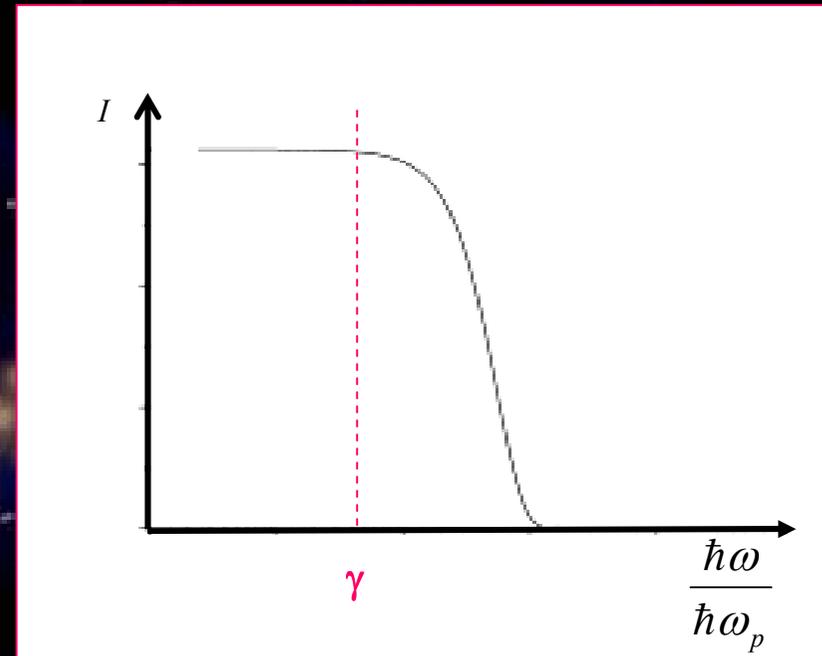
**Spettro** dei fotoni emessi  
decrese rapidamente per  
 $\hbar\omega > \gamma\hbar\omega_p$

⇒ per piccoli  $\gamma$  l'emissione  
è trascurabile

⇒ la TR si può usare per  
**identificare particelle:**

per  $E \approx 1 \text{ GeV}$

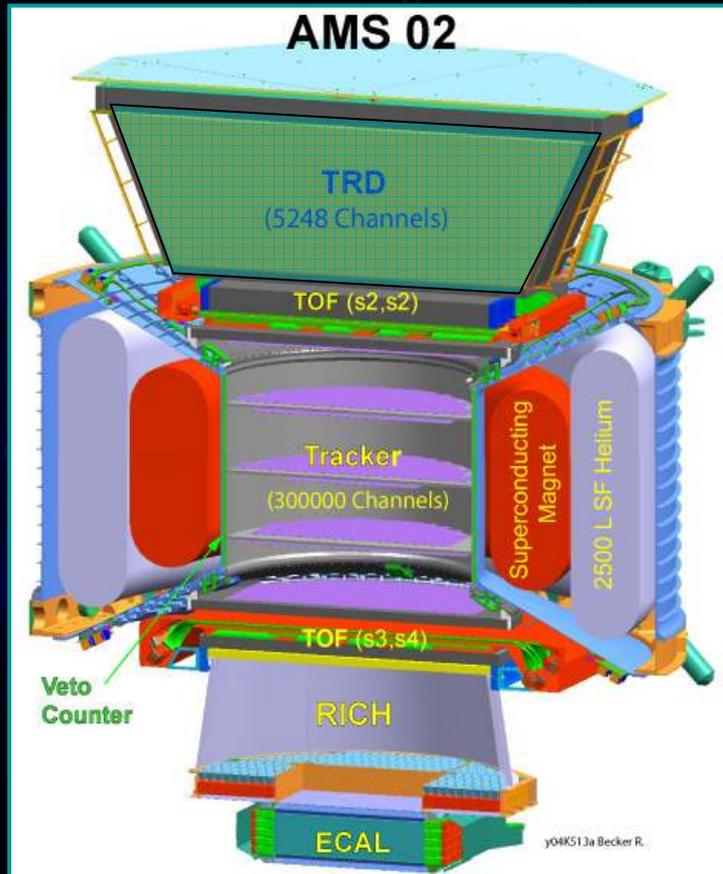
- $\gamma_{\text{protone}} \approx 1$
- $\gamma_{\text{elettrone}} \approx 1000$



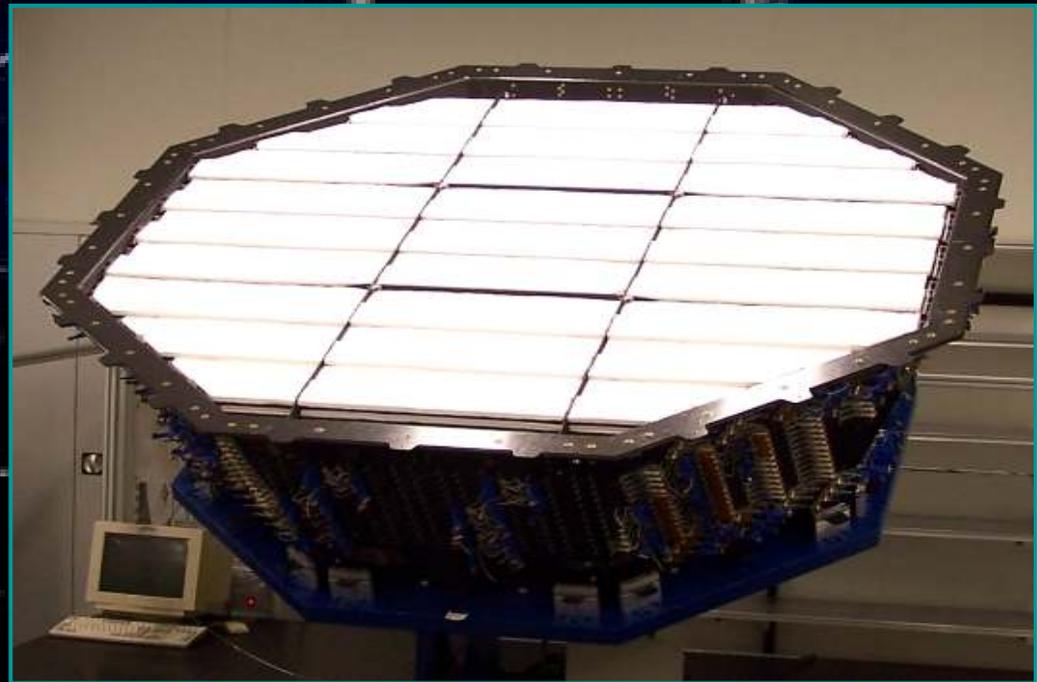
Per una particella con  $\gamma = 10^3$  si ha tipicamente una  
probabilità di emissione dell'1% ad ogni attraversamento

⇒ **bisogna massimizzare il numero di interfacce**

# Transition Radiation Detector (TRD)



*Fleece radiator + straw tubes (Xe:CO<sub>2</sub>)*  
separazione e/p > 10<sup>2</sup> fino a 300 GeV  
3D tracking



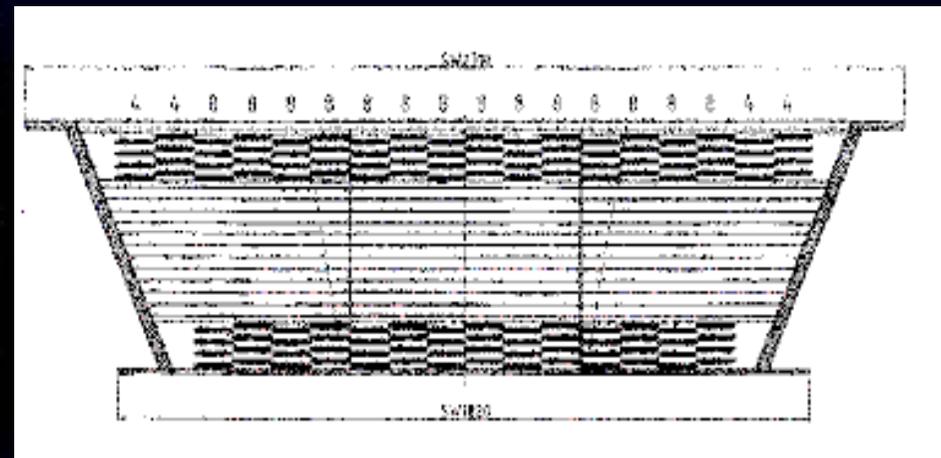
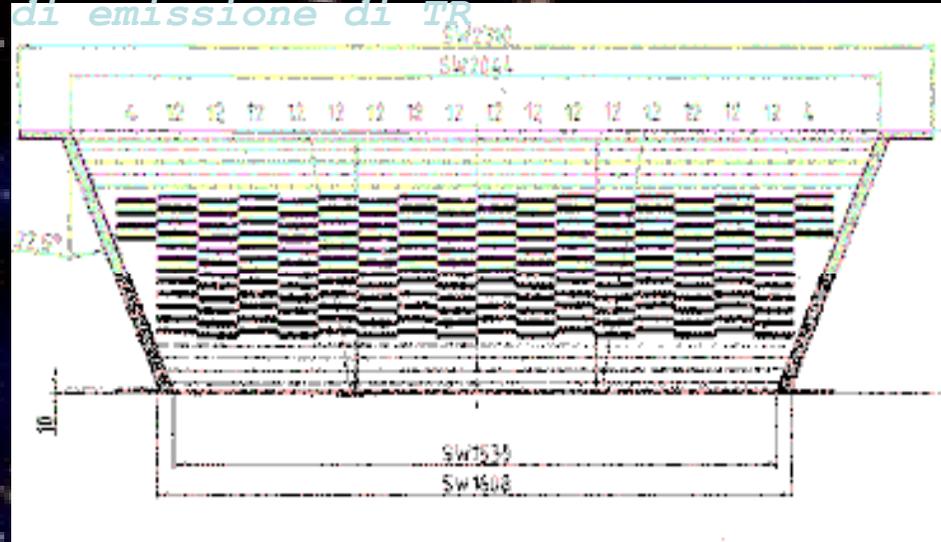
# Transition Radiation Detector (TRD)

Radiatore: layers di fibre di polietilene (*fleece*)

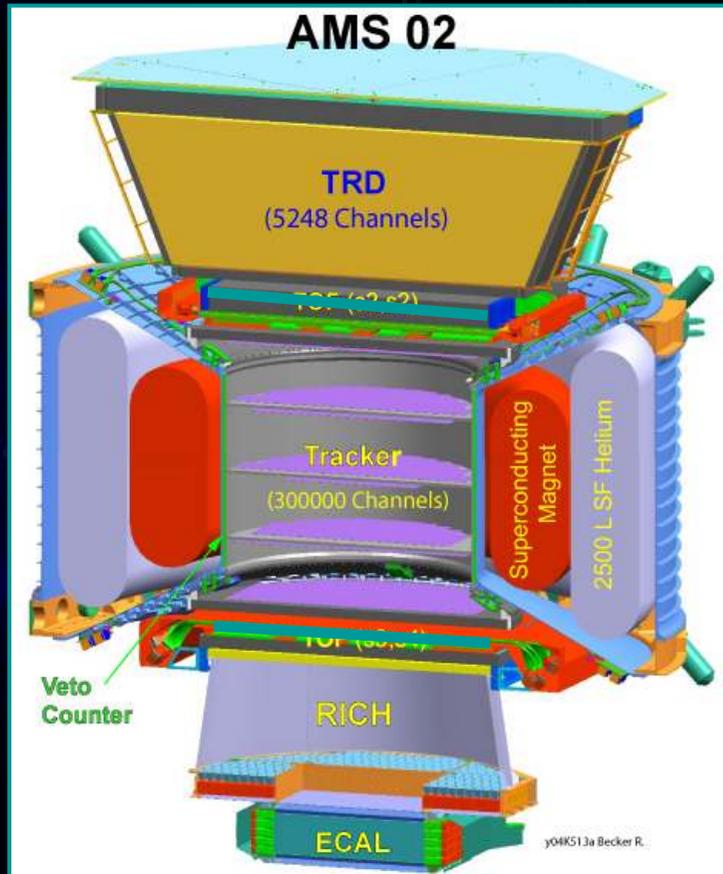
→ *aumenta la probabilità di emissione di TR*

Alternati con *straw modules*  
riempiti con una miscela  
di gas ad alto Z

20 layers disposti in  
proiezioni alternate  
rendono possibile la  
ricostruzione di tracce  
tridimensionali



# Time of Flight (TOF)



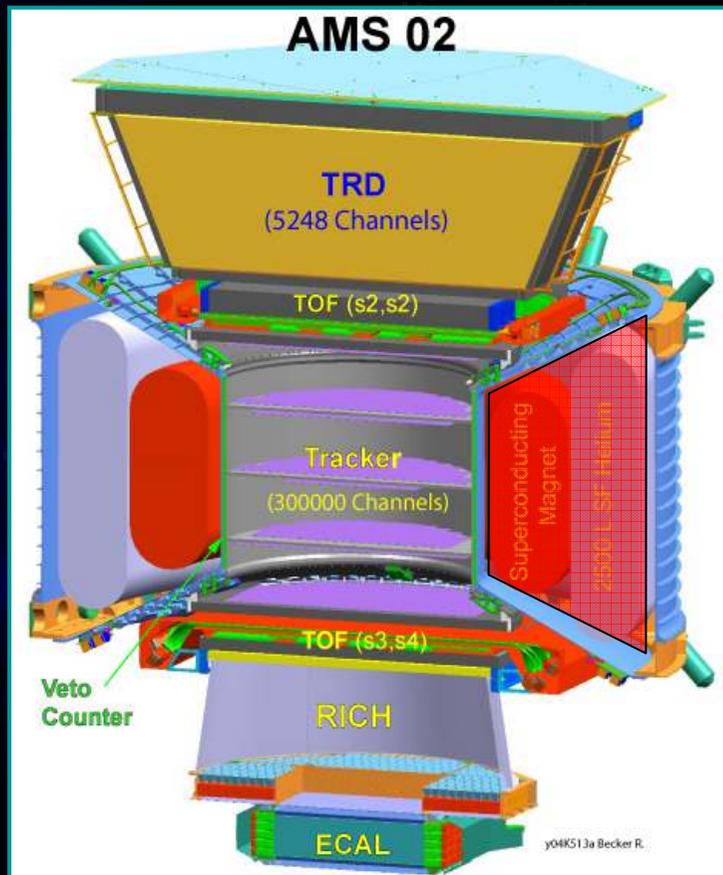
*2+2 layers di scintillatori,  $\Delta t \sim 160$  ps*

**Main Trigger  
separazione in Z**

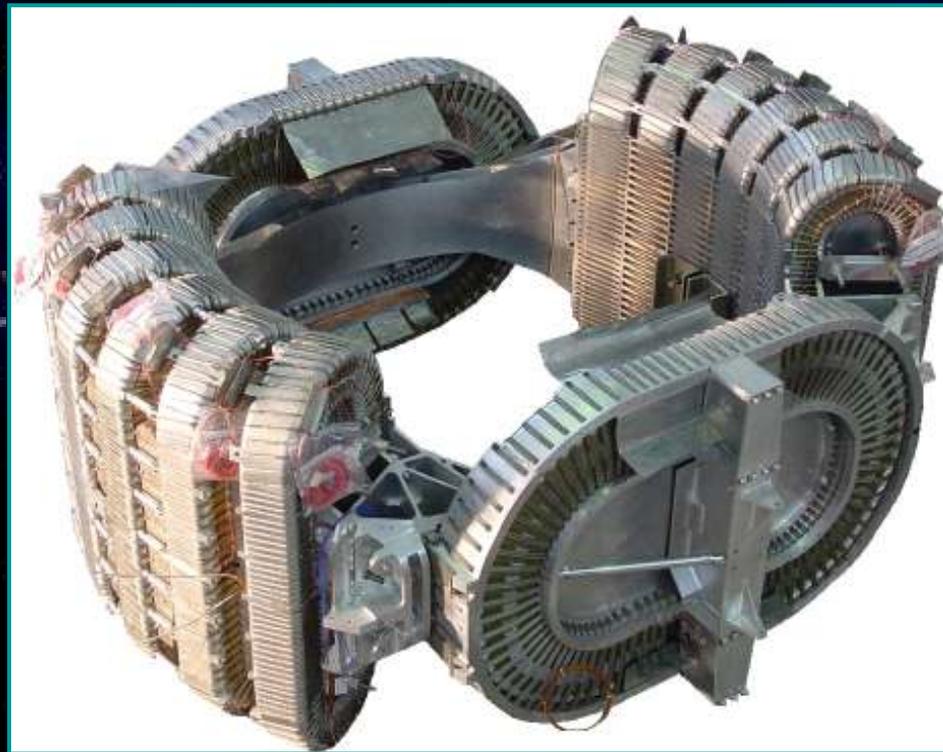
**$\beta$  con precisione di qualche %**



# Magnete Superconduttore

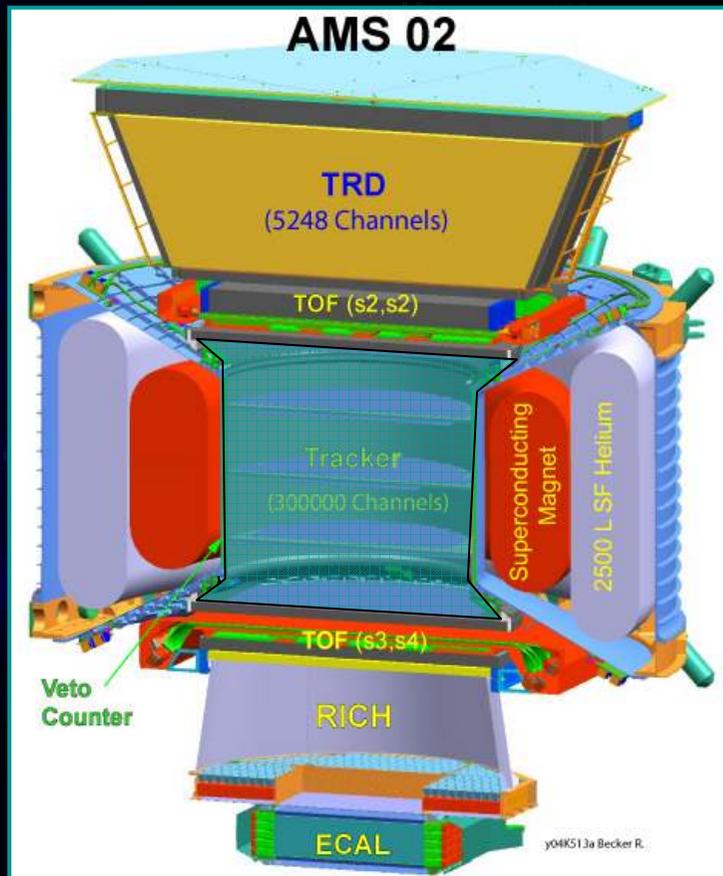


*Raffreddato a 1.8 K da 2.5 m<sup>3</sup> di He superfluido*  
*Campo dipolare contenuto di 0.85 Tm<sup>2</sup>*



*Primo magnete superconduttore  
usato nello spazio*

# Silicon Tracker

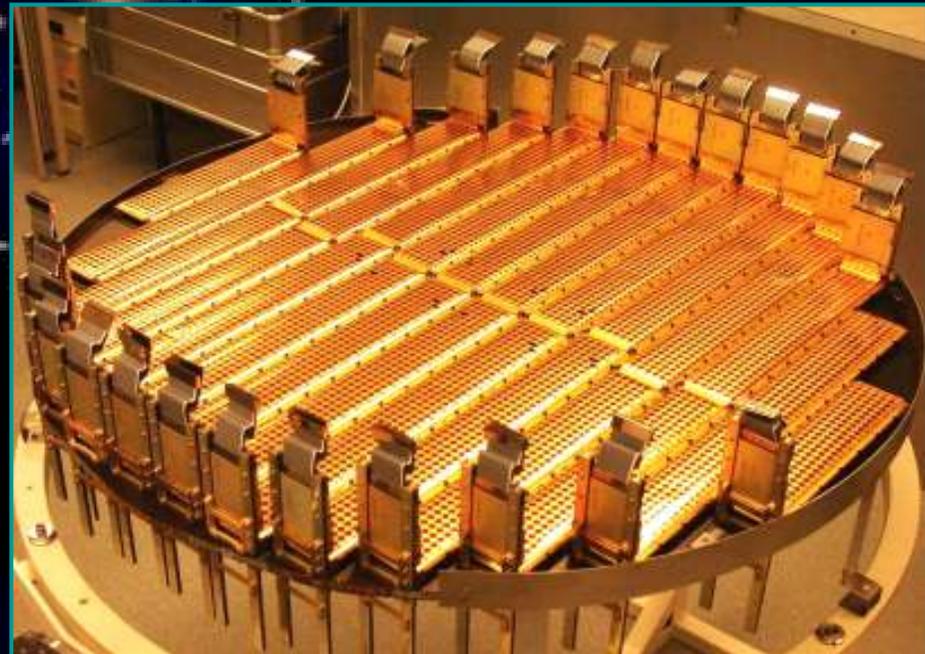


*8 layers di microstrip detectors di silicio*

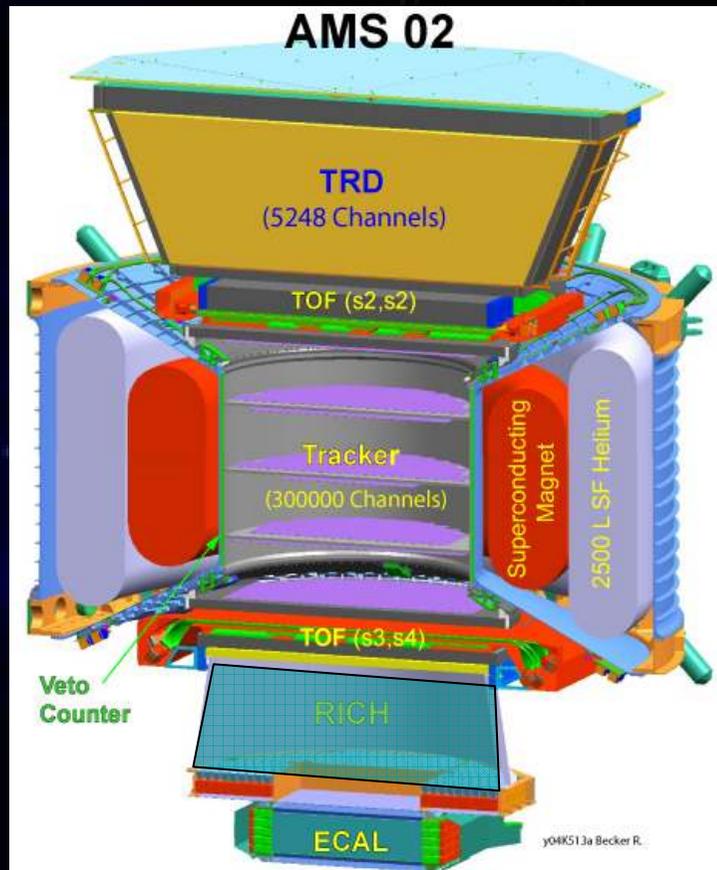
separazione in Z

R fino a 2-3 TeV

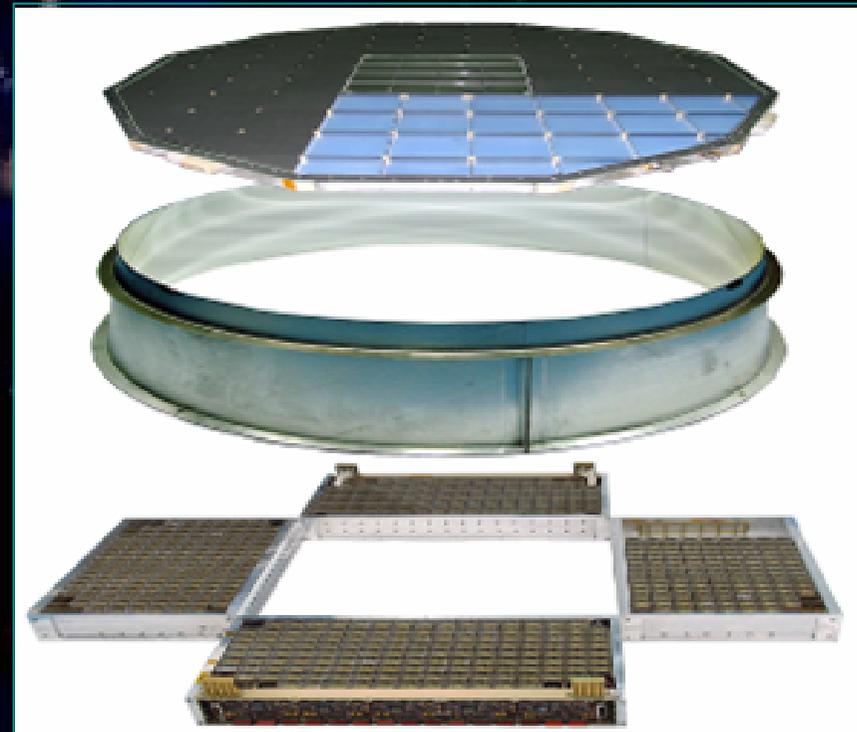
$\sigma_R < 2\%$  per  $R < 10$  GeV



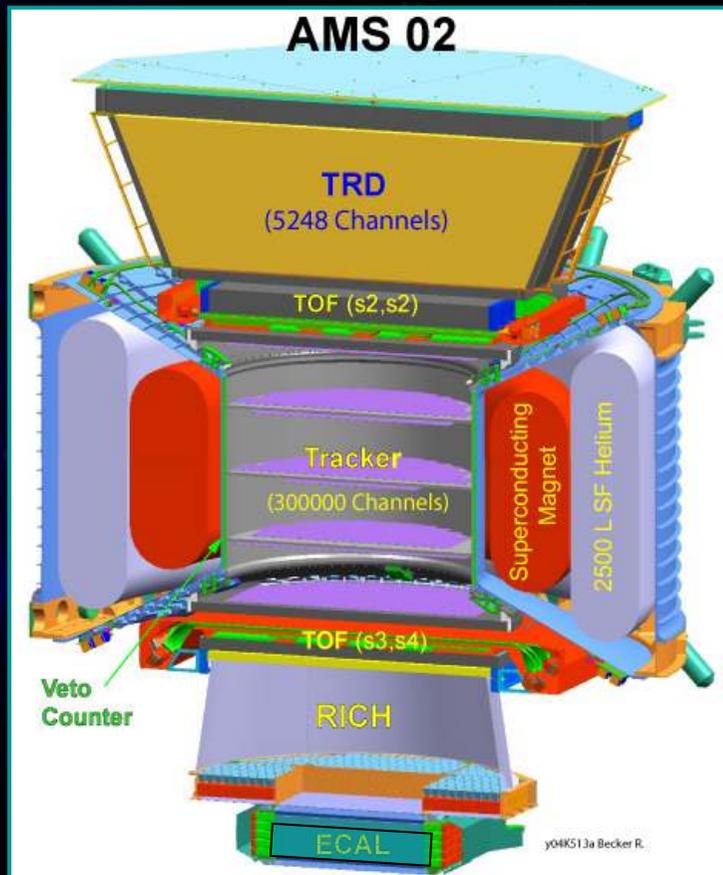
# Ring Imaging Cherenkov (RICH)



*2 Radiatori: NaF (centro), Aerogel*  
separazione in Z e di isotopi  
 $\sigma_{\text{mass}} = 2\%$  sotto 10 GeV/n  
 $\beta$  con precisione dello 0.1%



# Calorimetro Elettromagnetico



*9 superlayers di piombo e fibre scintillanti*

Standalone Trigger

rivelazione di  $e^\pm, \gamma$

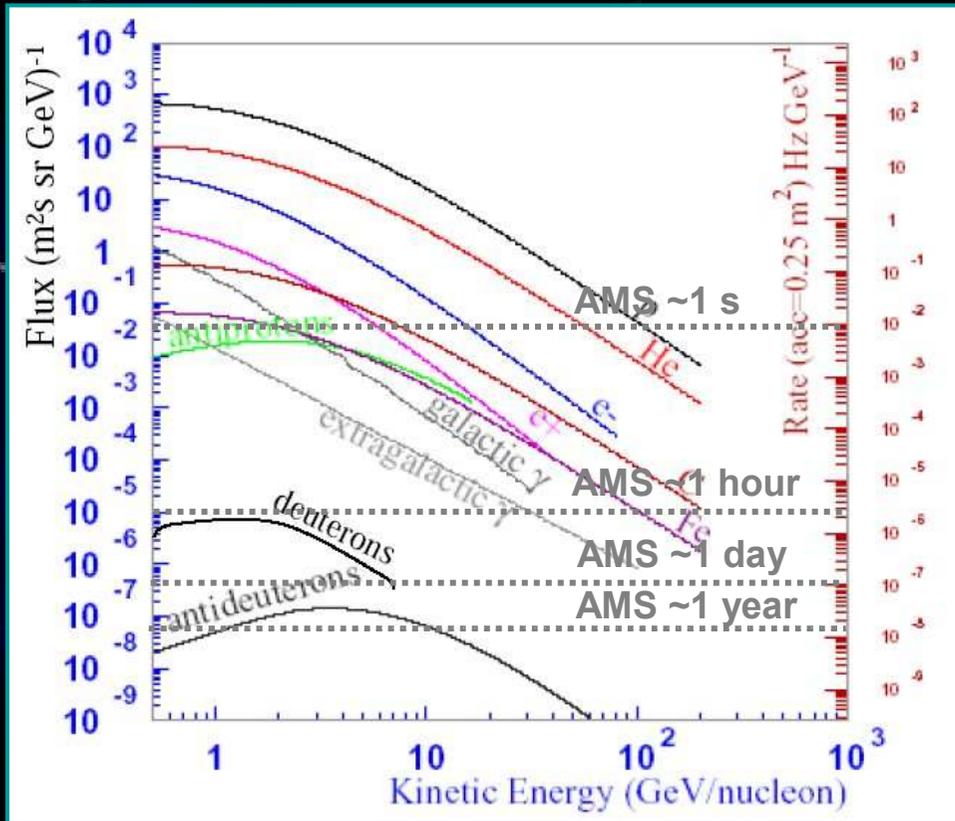
$\sigma_E < 3\%$  per  $E > 10$  GeV

separazione  $e/p > 10^3$

3D imaging



# Misura dei flussi dei RC



$$e^+/p \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ @ } 10 \text{ GeV}$$

$$e^+/e^- \sim 10^{-1} \text{ @ } 10 \text{ GeV}$$

$$\gamma \text{ (galactic center)}/p \sim 10^{-4} \text{ @ } 10 \text{ GeV}$$

$$\gamma \text{ (galactic center)}/e^- \sim 10^{-2} \text{ @ } 10 \text{ GeV}$$

$$\bar{p}/p \sim 10^{-4} \text{ @ } 10 \text{ GeV}$$

$$\bar{p}/e^- \sim 10^{-2} \text{ @ } 10 \text{ GeV}$$

## Particella

## Range di energia

p

0.1 GeV al TeV

$\bar{p}$

0.5 a 300 GeV

e<sup>-</sup>

0.1 GeV al TeV

e<sup>+</sup>

0.1 a 300 GeV

He

1 GeV al TeV

anti-He, ..., C

1 GeV al TeV

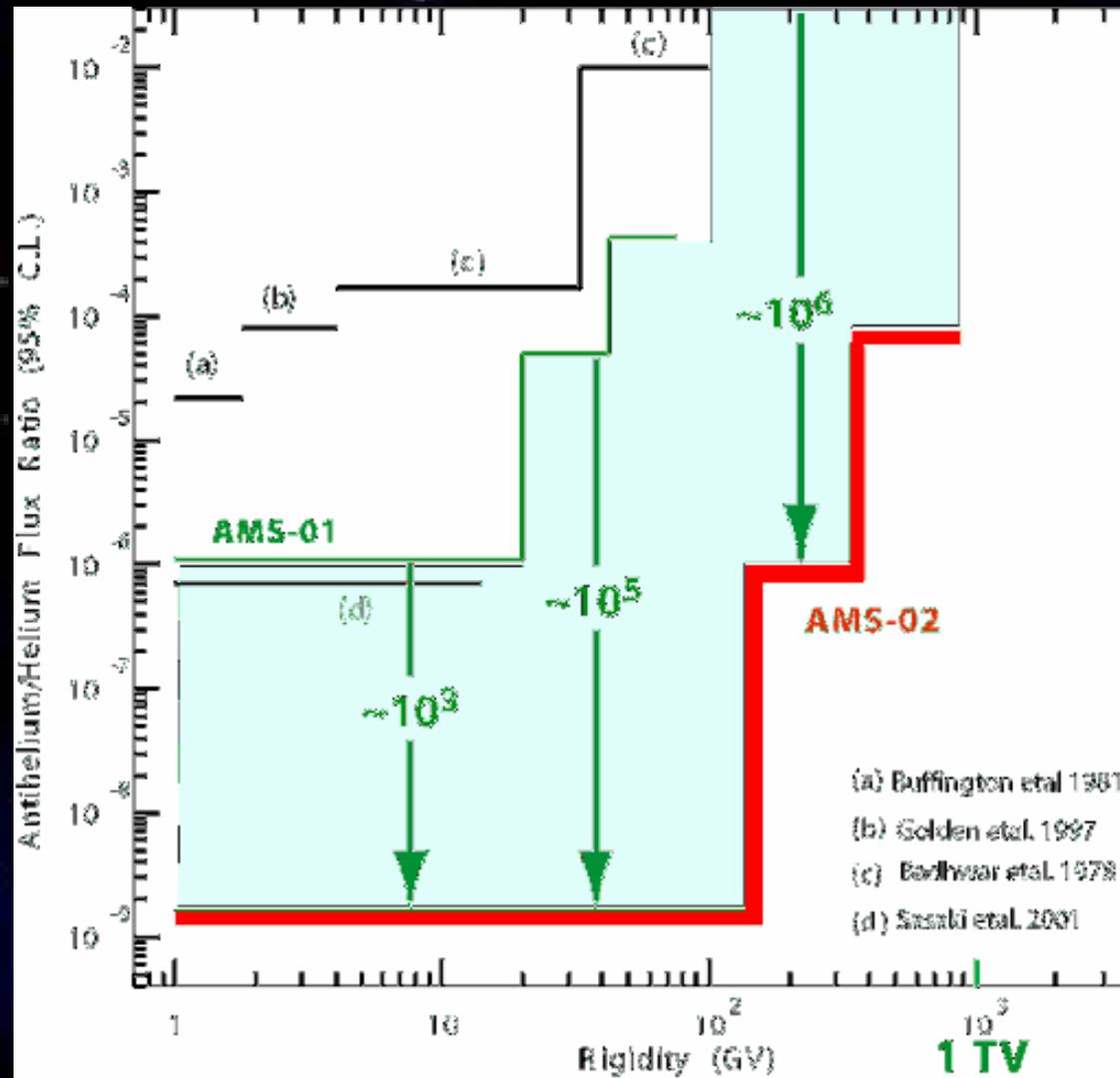
Isotopi leggeri

1 a 10 GeV/nucleone

γ

1 GeV al TeV

# Limiti attesi sull'anti-He



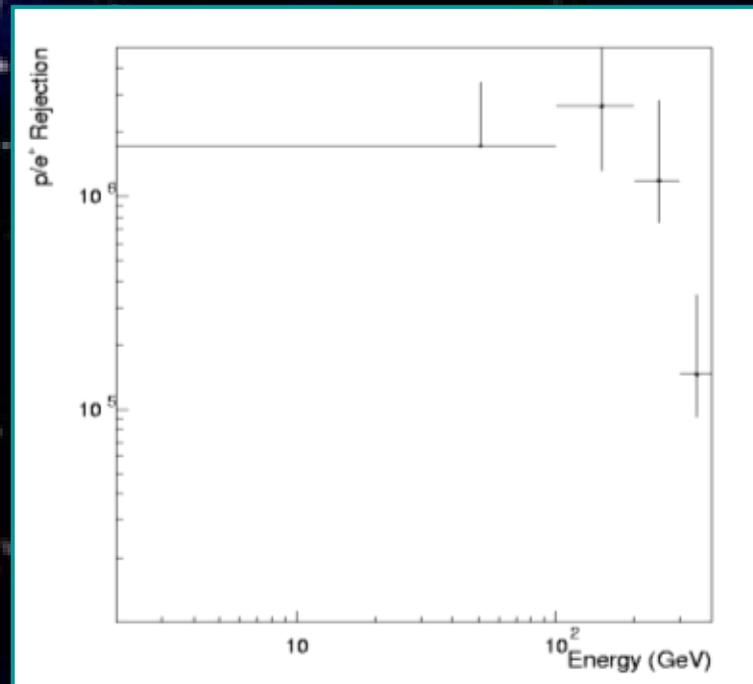
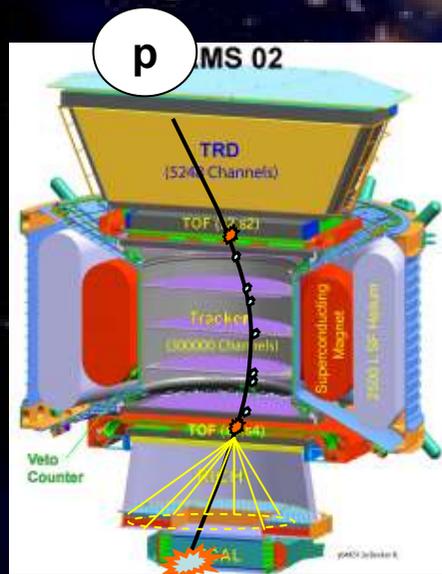
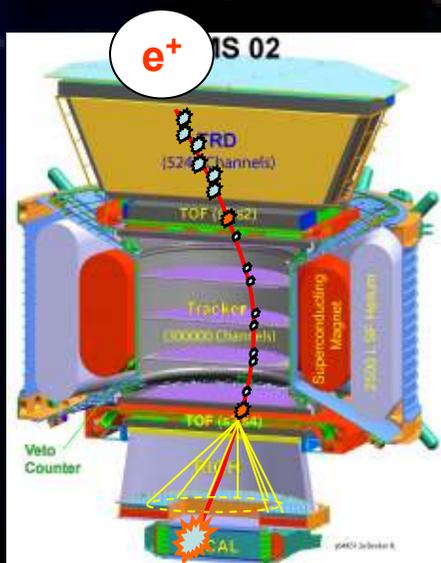
# Positroni

L'esperimento HEAT ha rivelato un eccesso nella regione intorno a 10 GeV su un campione di  $\sim 10^2$  positroni

AMS raccoglierà  $10^5$  positroni nella regione  $< E < 50$  GeV, in 3 anni

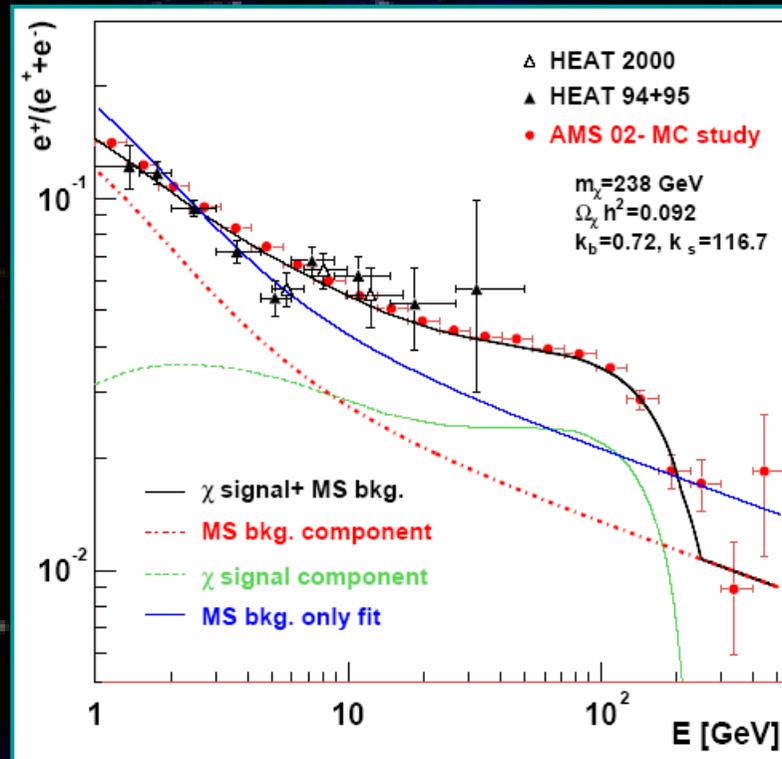
Fondi:

	abb. relativa	fattore di reiezione
protoni	$\sim 10^4$	$10^2 - 10^3$ [TRD] $\times 10^3$ [ECAL] $\geq 10^5$
elettroni	$\sim 10$	$10^4$ [TOF+Tracker]



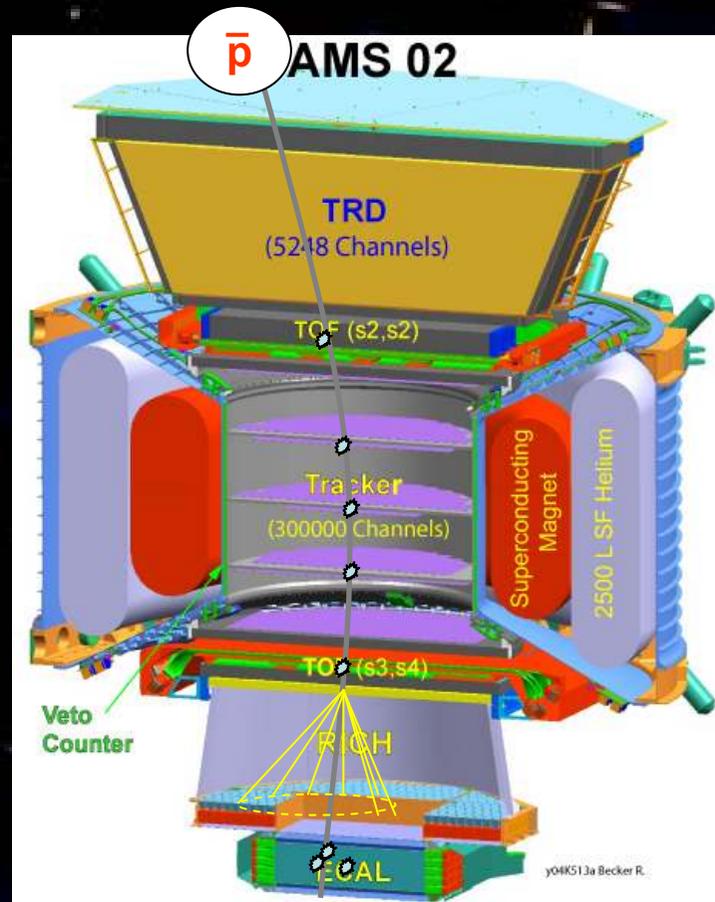
# Positroni

Esempio di segnali di annichilazione di neutralini che osserverà AMS con un fattore di boost che spiega i dati di HEAT:



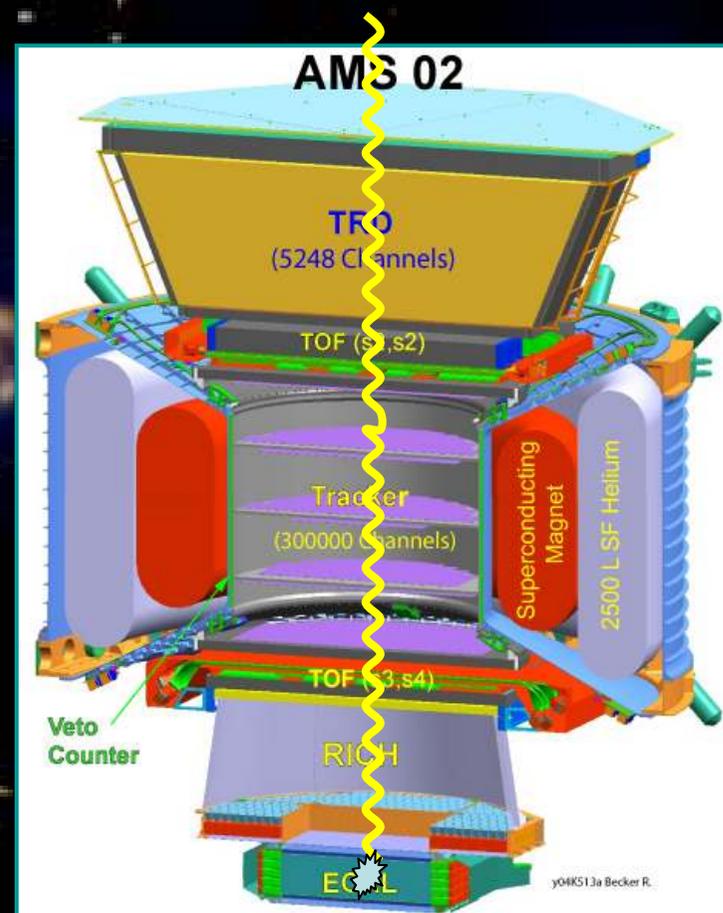
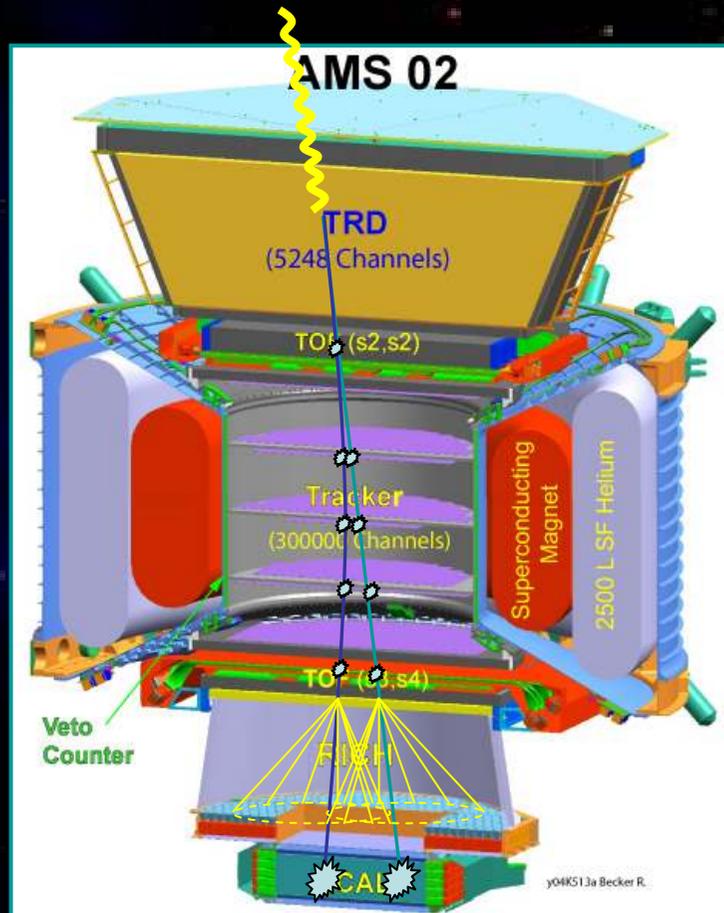
$m_\chi = 238$  GeV, boost factor=116.7

# Antiprotoni



# Fotoni

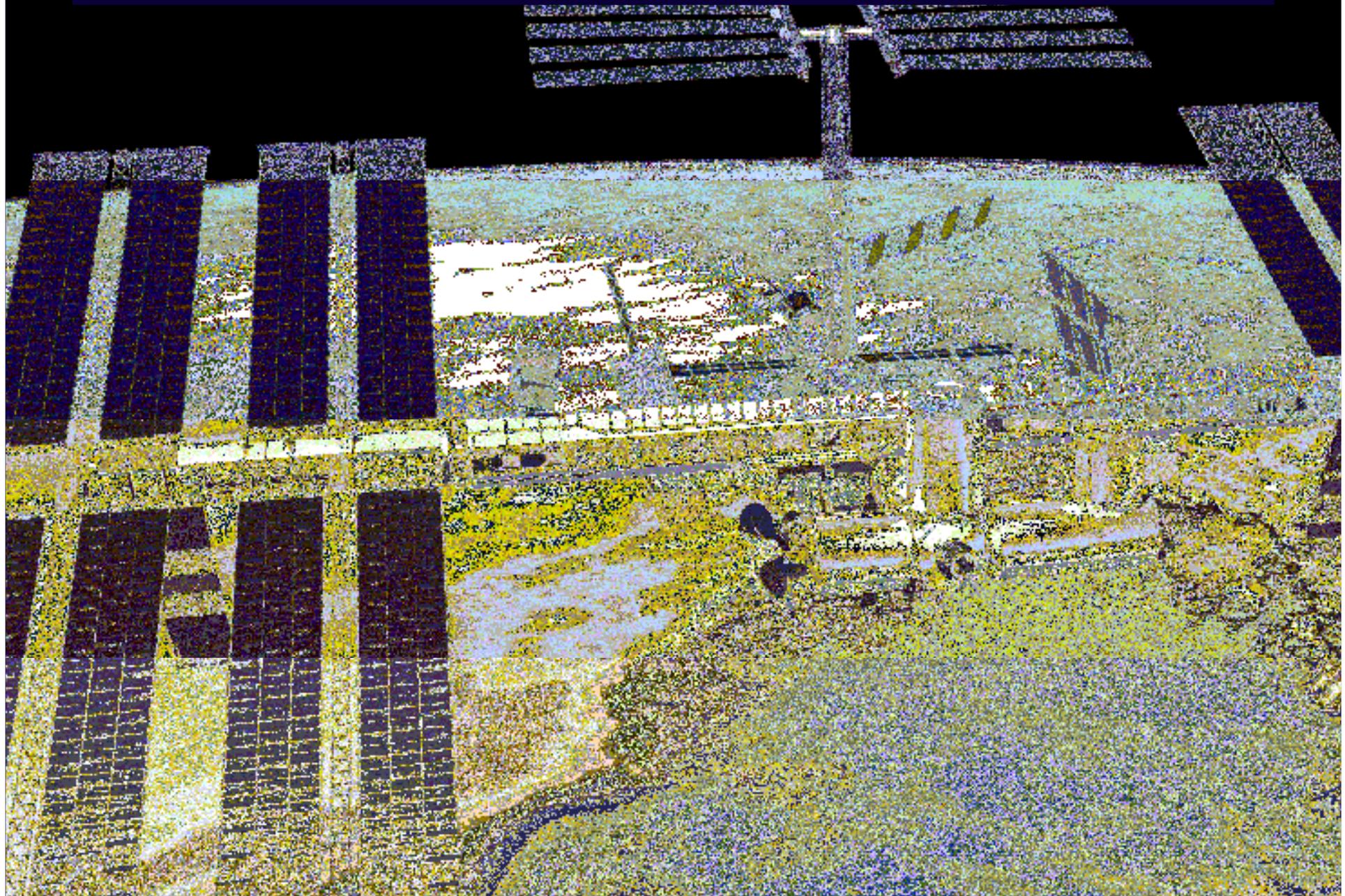
- Conversione di fotoni direzione dal Tracker, energia da Tracker+Ecal
- Singolo fotone direzione ed angolo dall'Ecal



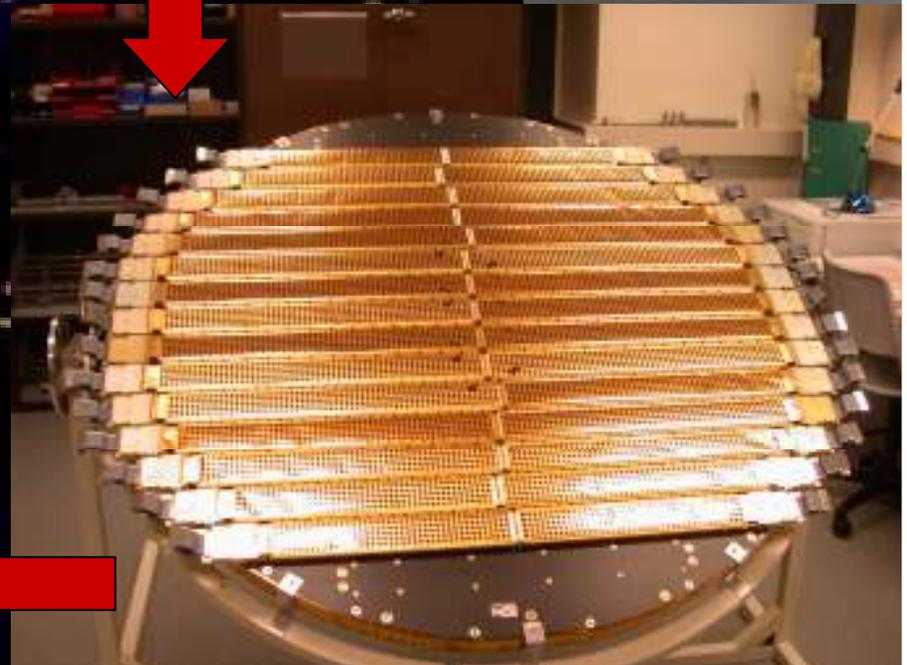
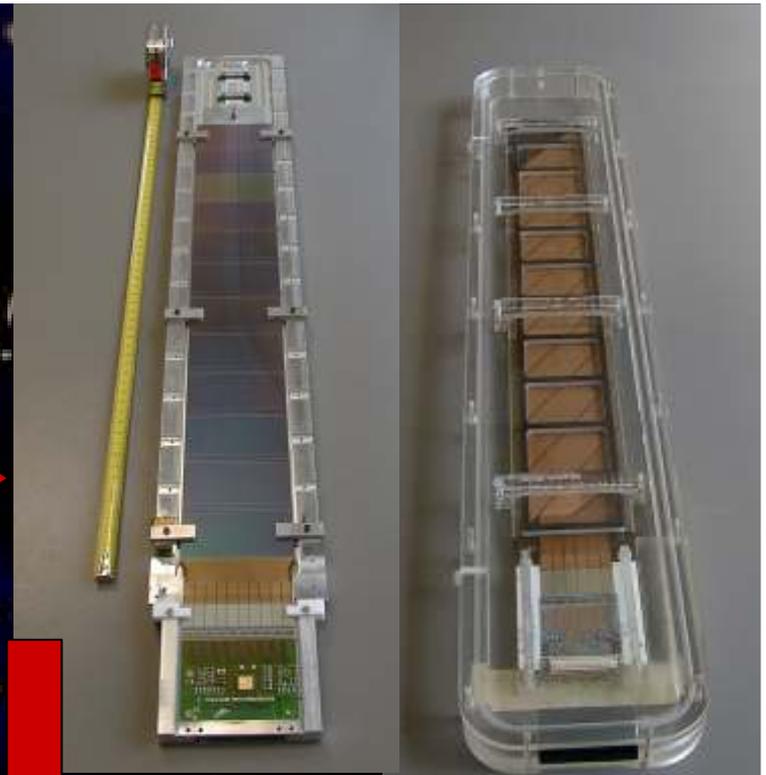
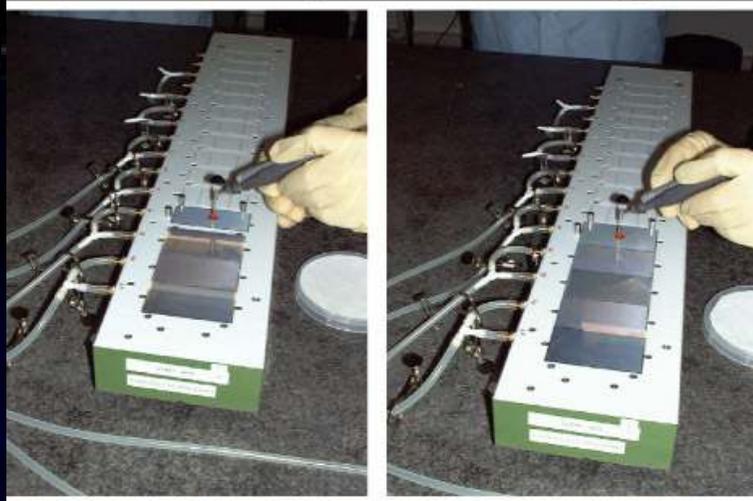
## Riassumendo

- AMS in 3 anni di missione misurerà **simultaneamente** e con grande precisione gli spettri di *positroni*, *fotoni* e *antiprotoni* nel range GeV-TeV, alla ricerca di un segnale di annichilazione di materia oscura.
- La misura simultanea di altre quantità fondamentali (spettri di  $p$  ed  $e^-$ ,  $B/C$  ratio) contribuirà a distinguere effetti astrofisici da veri segnali di materia oscura.
- AMS può rivelare nuclei di antimateria fino all'anti-ferro fino ad energie del TeV. Se nessun segnale sarà osservato, il limite ottenuto favorirà l'ipotesi di asimmetria barionica.
- Le misure ottenute consentiranno di ridurre il gran numero di modelli attualmente esistenti per materia oscura ed antimateria.

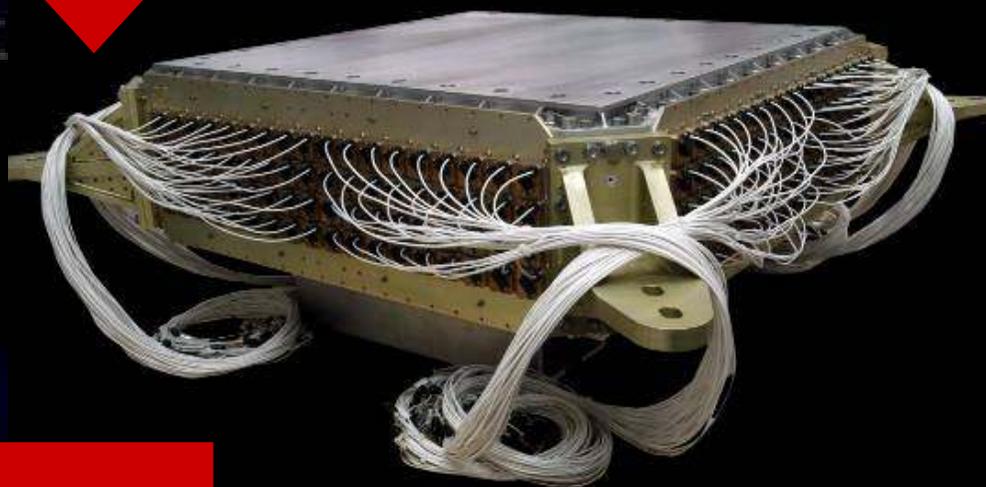
# Tour fotografico



# TRACKER

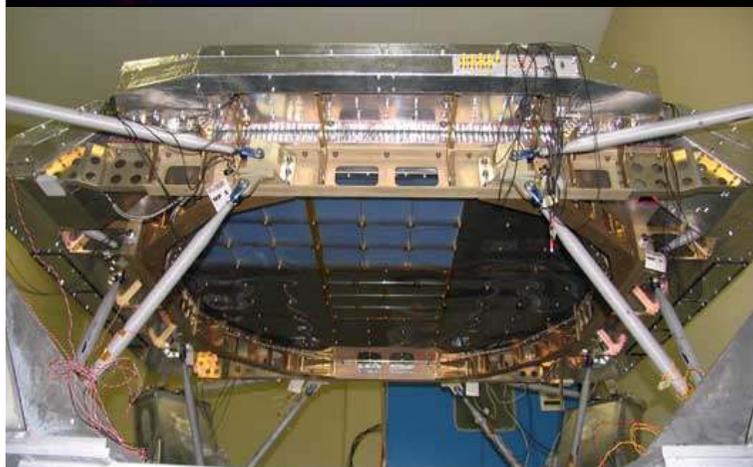
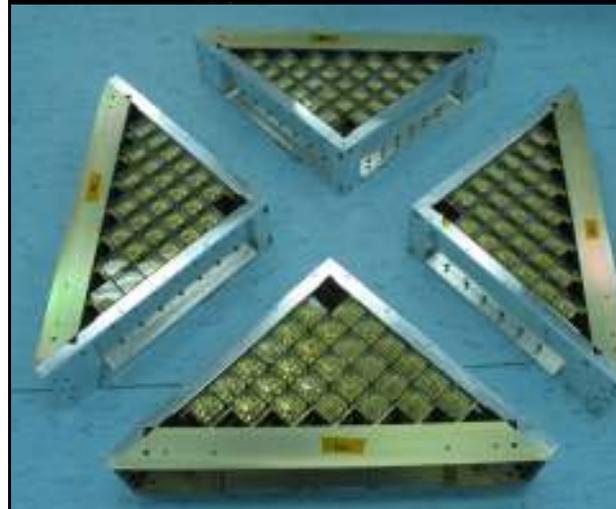
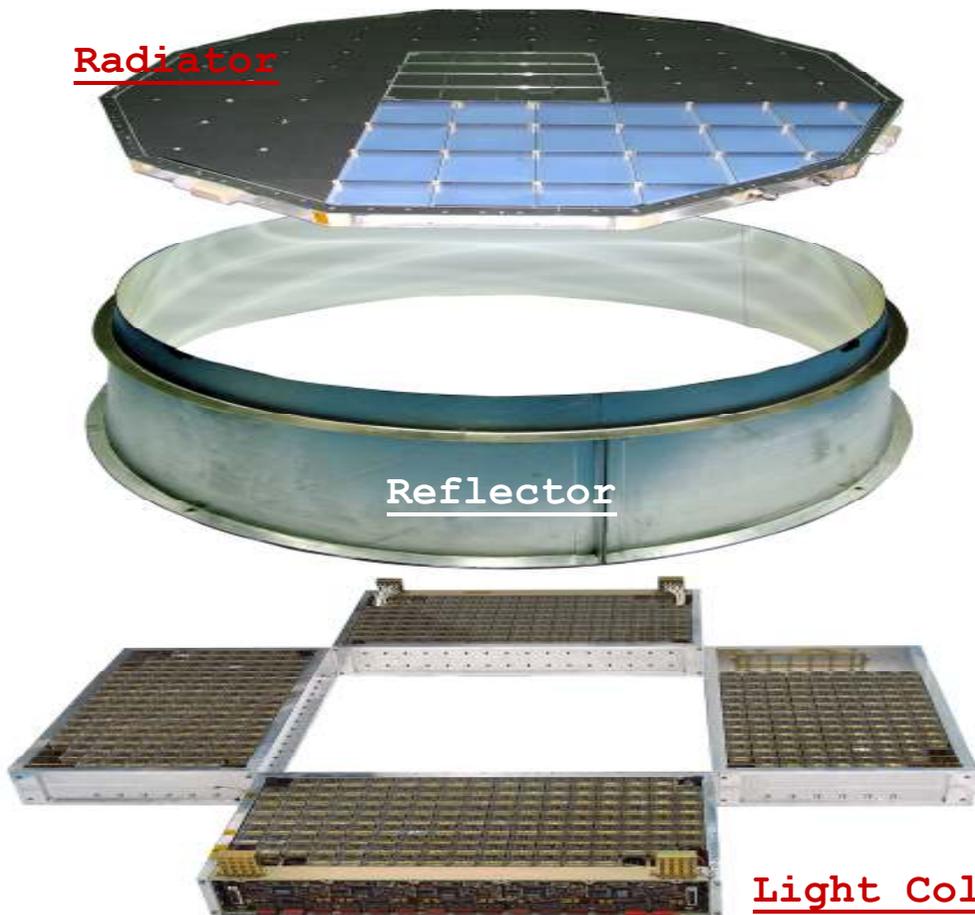


# ECAL

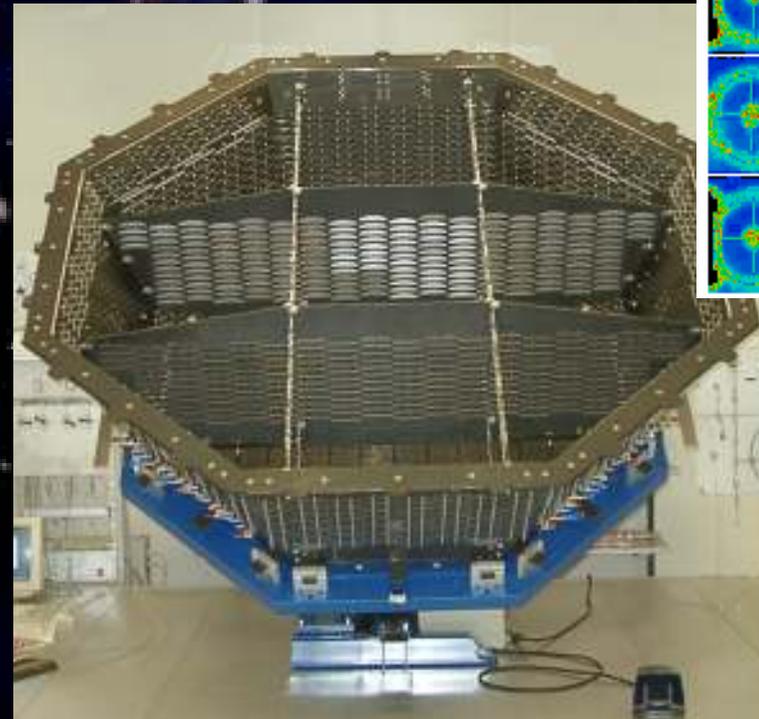
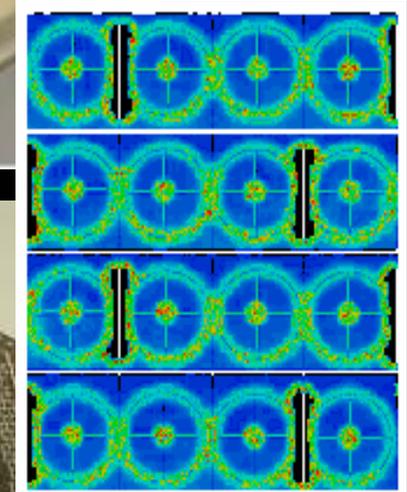
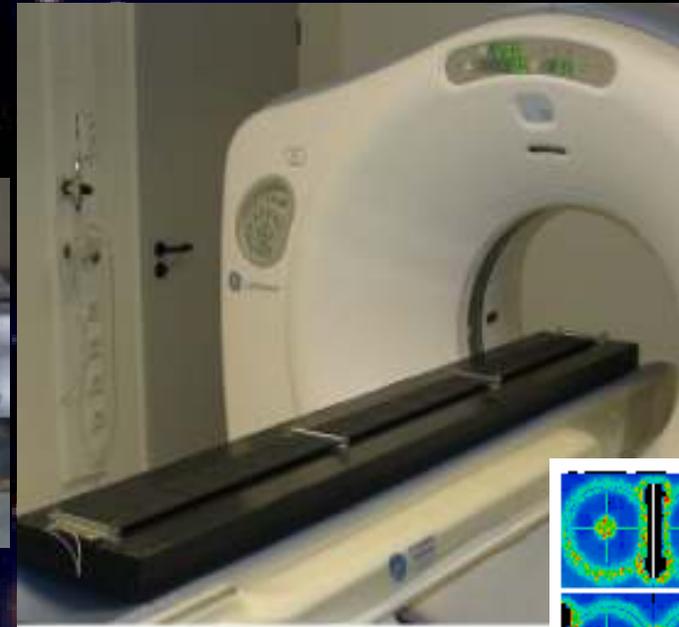


# RICH

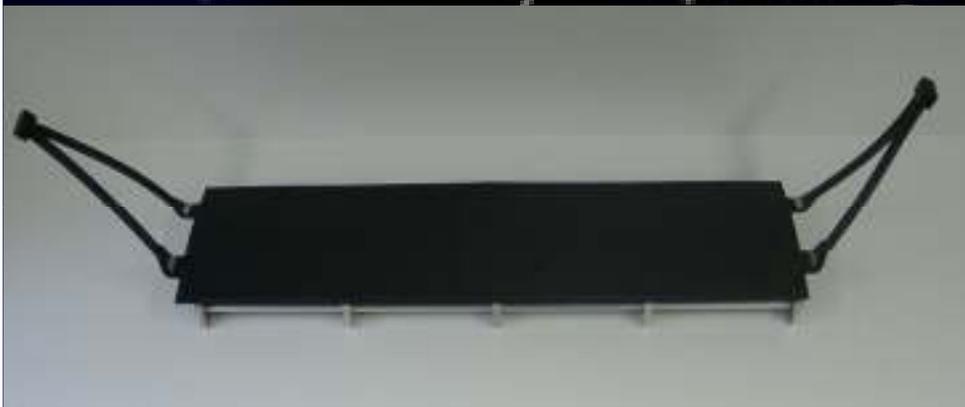
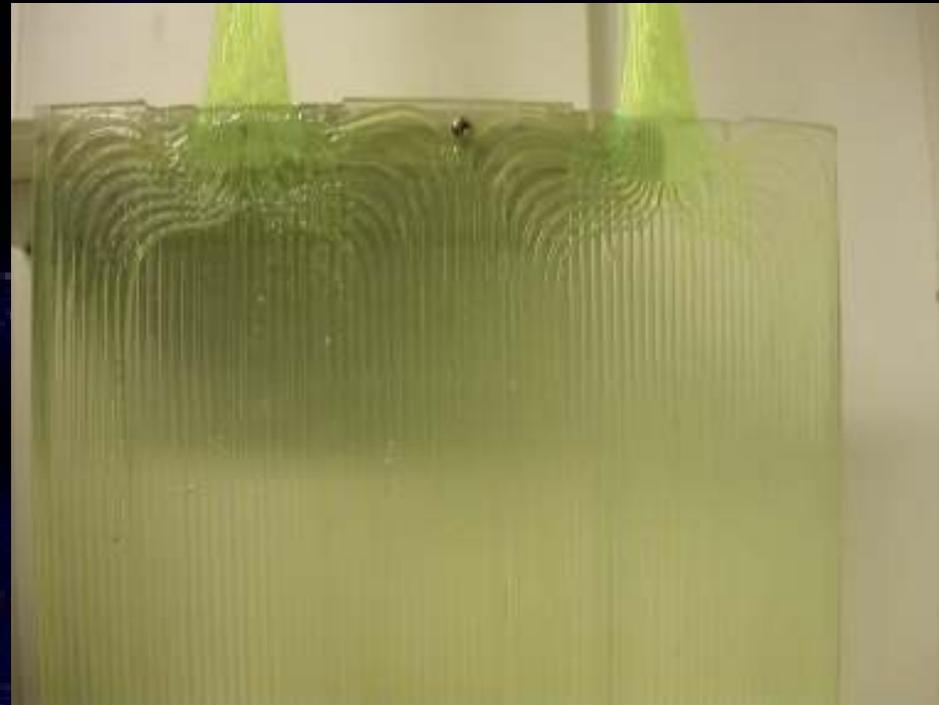
Radiator



# TRD



# TOF



# L-TOF



# MAGNETE

