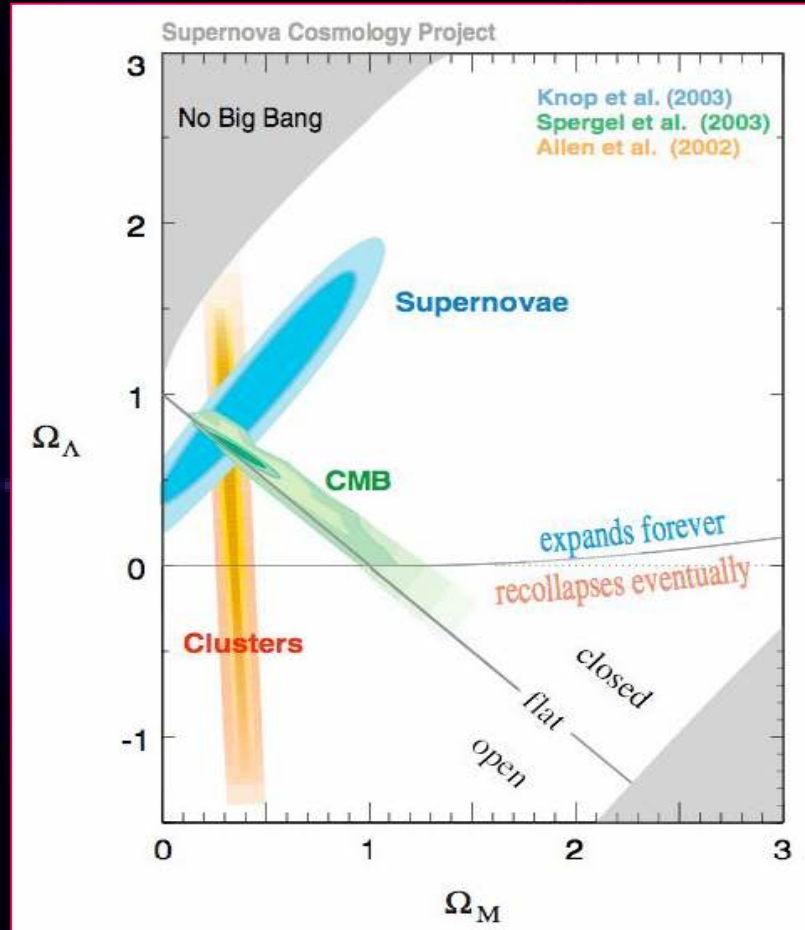


L'esperimento AMS-02
per la ricerca di Antimateria
e Materia Oscura
nei Raggi Cosmici

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

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

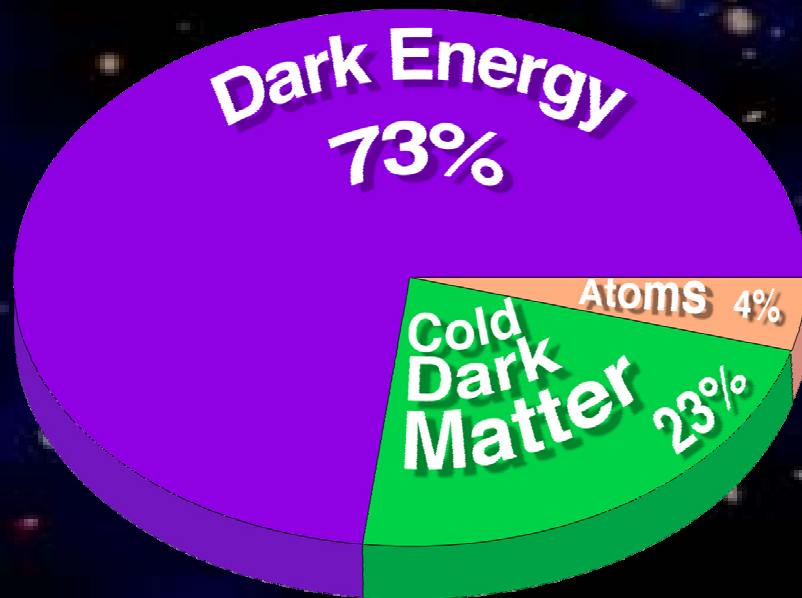
SuperNovae di tipo Ia

(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**)

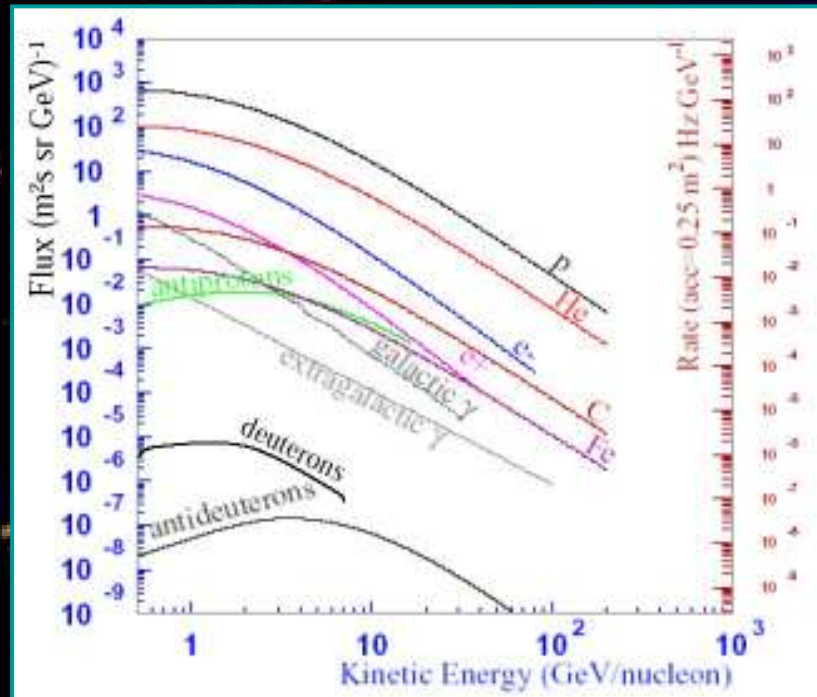


Si possono immaginare meccanismi per cui l'antimateria sia scomparsa (violazione di CP durante la bariogenesi)

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

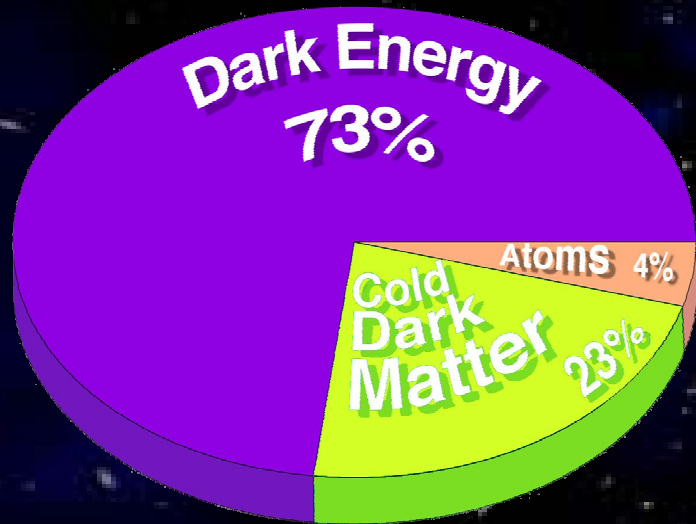
Particella supersimmetrica più leggera: **neutralino χ**

- modelli extradimensionali

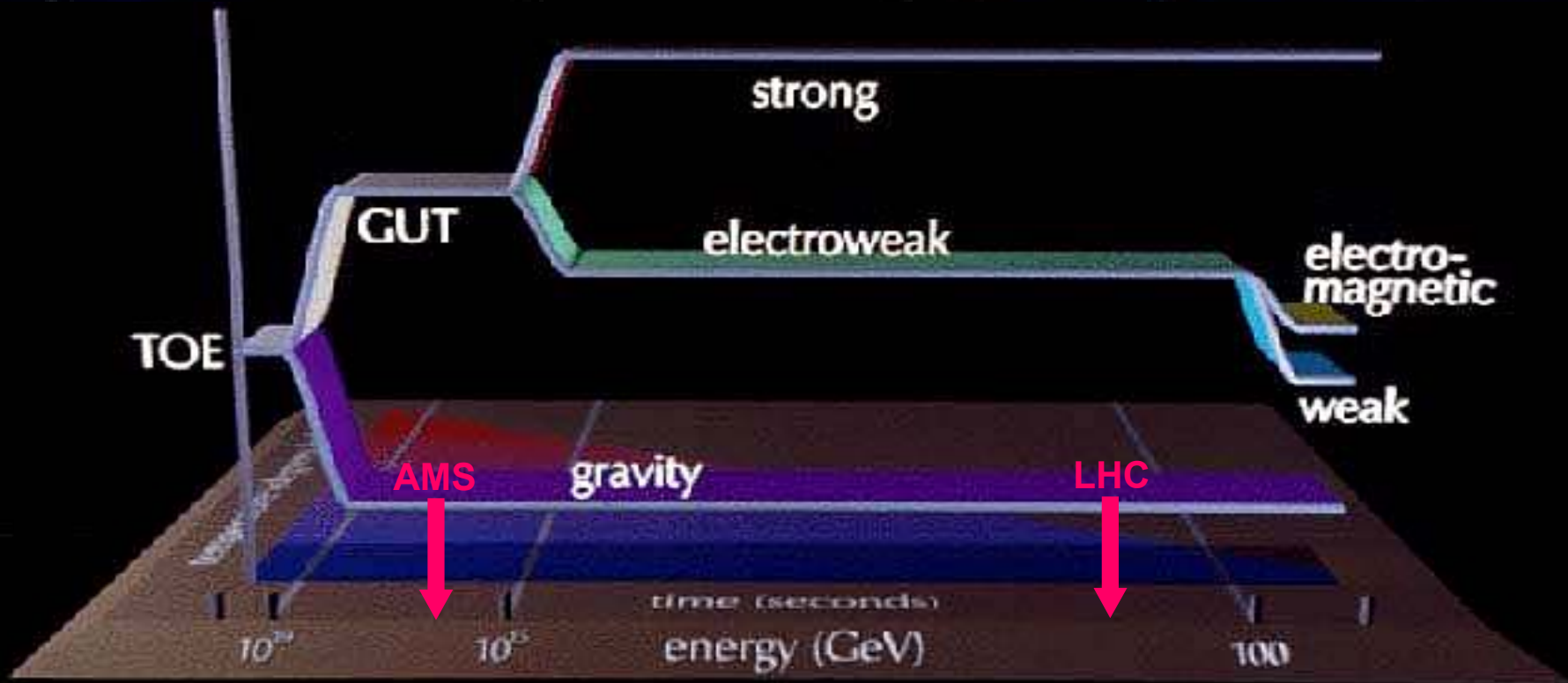
Particella di Kaluza-Klein più leggera: **modo $n=1$ del bosone di gauge di $U(1)$ $B^{(1)}$**

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

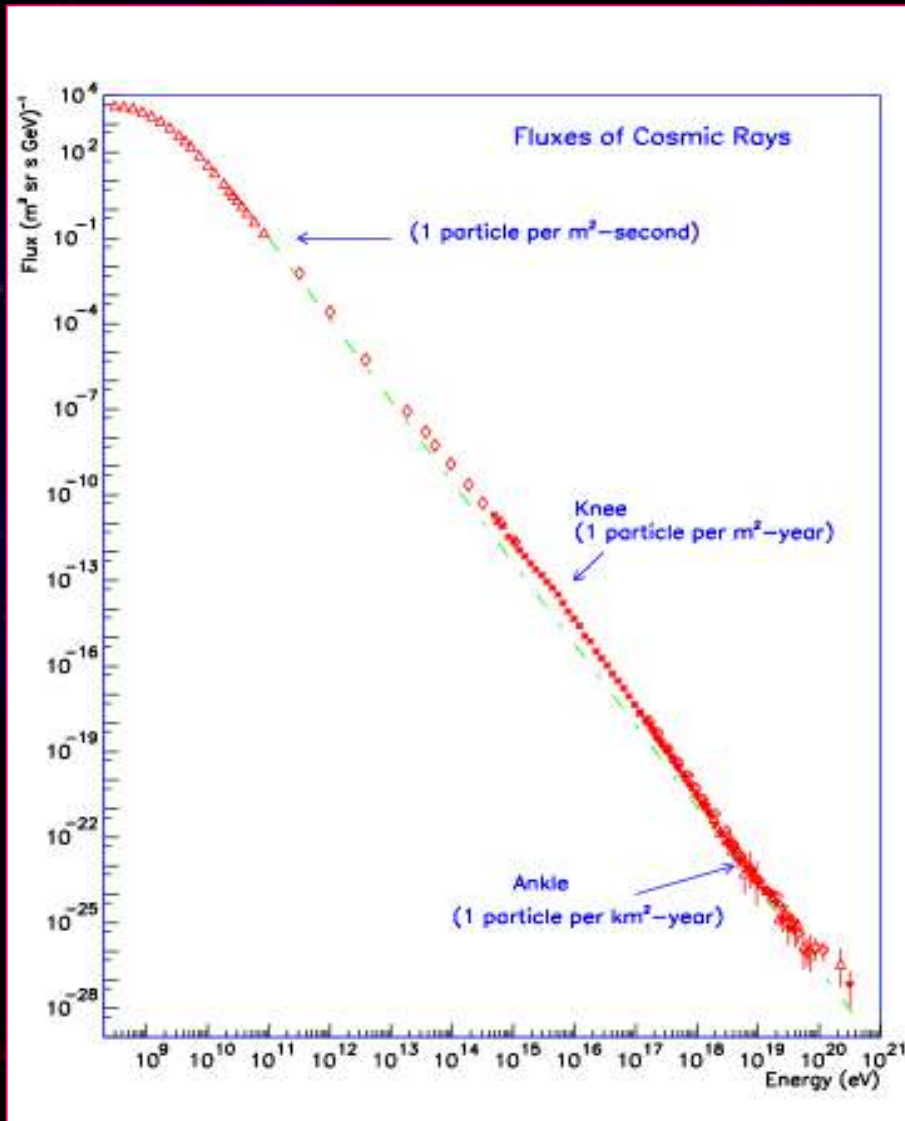
- produzione diretta : $E_\gamma = m_\chi$
- decadimento di Pioni neutri

\bar{p}

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

Canali accessibili ad AMS

Perché studiare i raggi cosmici nello spazio

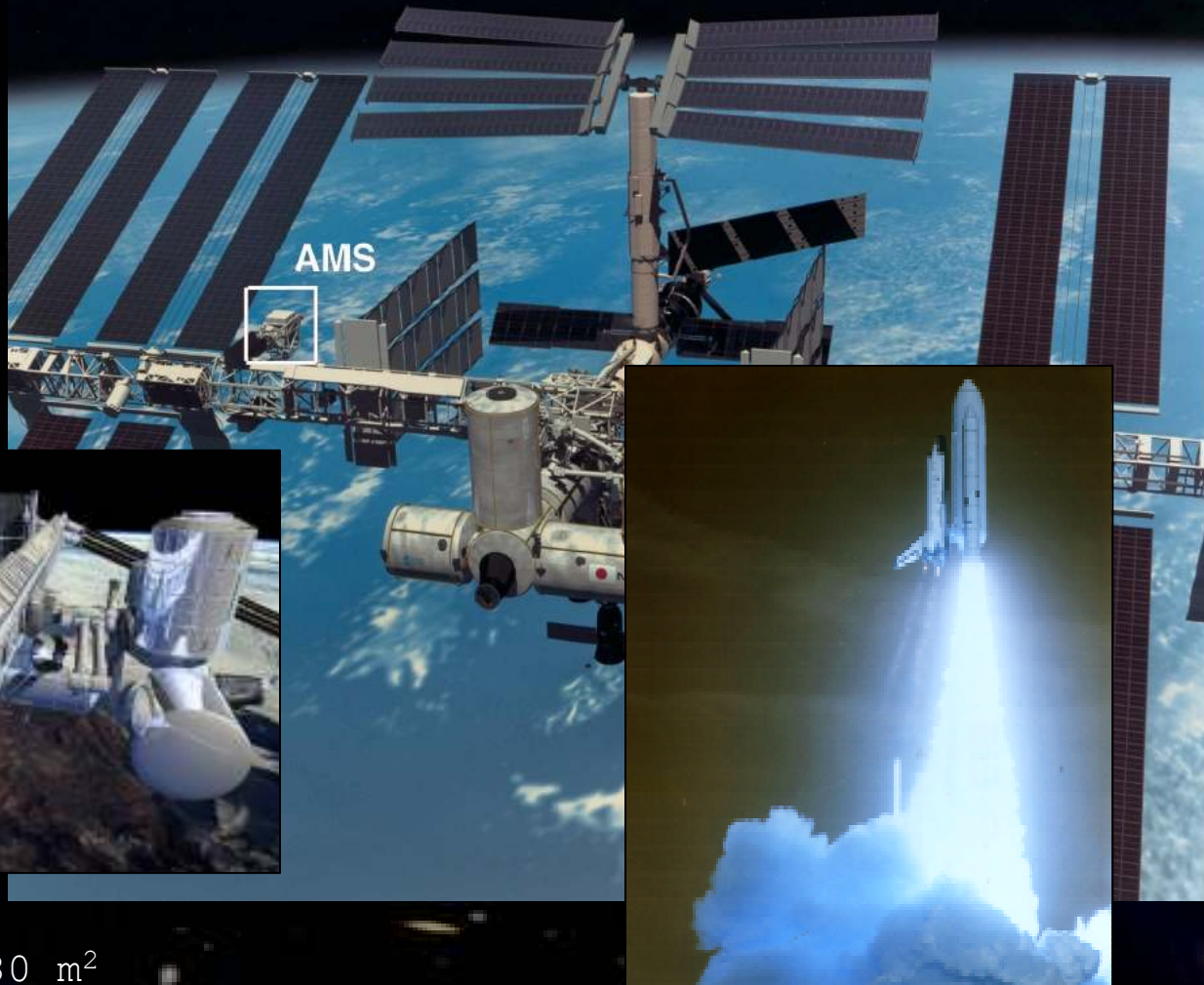


La presenza di **nuclei di antimateria** o di **prodotti di annichilazione di WIMP** si traduce in modifiche dello spettro dei raggi cosmici, a patto di avere una sensibilità sufficiente a rivelarle.

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

⇒ si va nello spazio!

La stazione spaziale internazionale



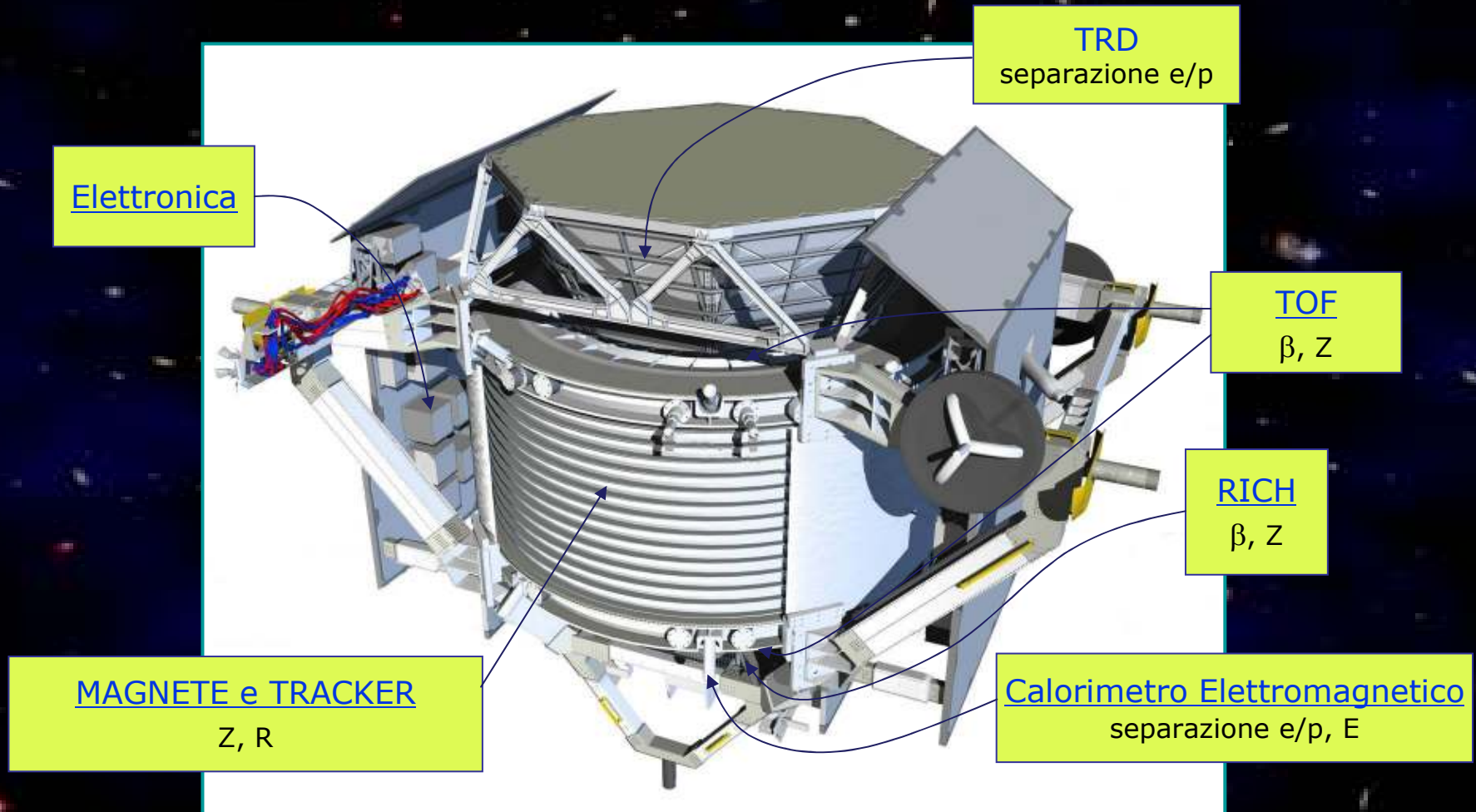
Dimensioni: 108 x 80 m²

Inclinazione 51.57°, 15.62 revs/d

DT: -150 ÷ +30 °C

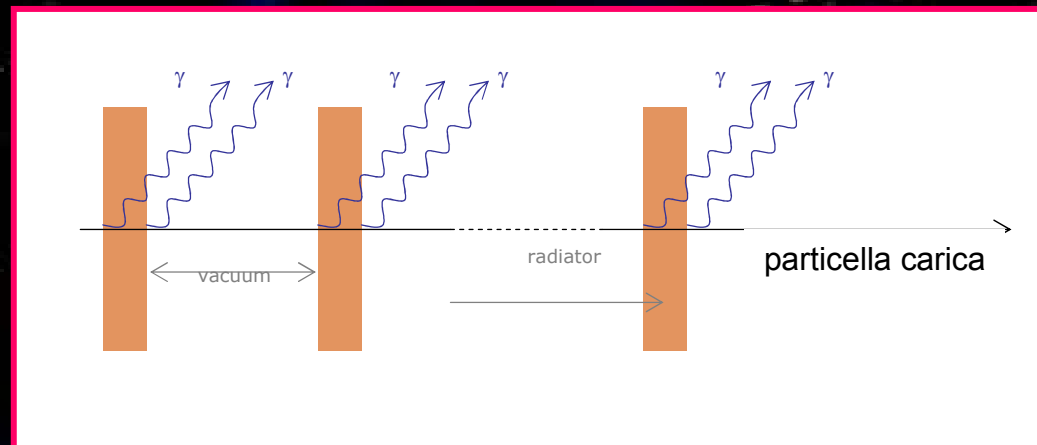
Orbita: ellittica a 400 km

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 γ 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

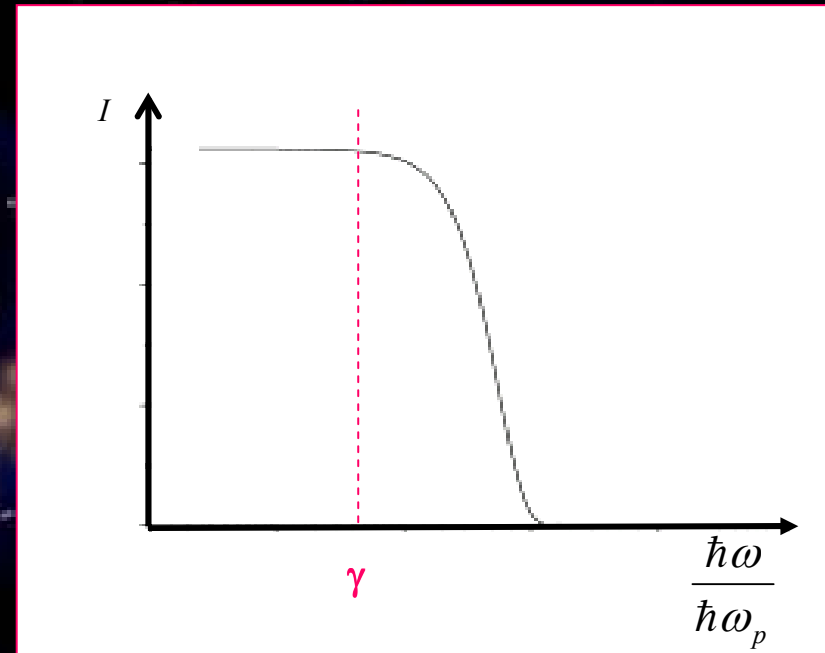
Spettro dei fotoni emessi
decrese rapidamente per
 $\hbar\omega > \gamma\hbar\omega_p$

⇒ per piccoli γ l'emissione
è trascurabile

⇒ la TR si può usare per
identificare particelle:

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

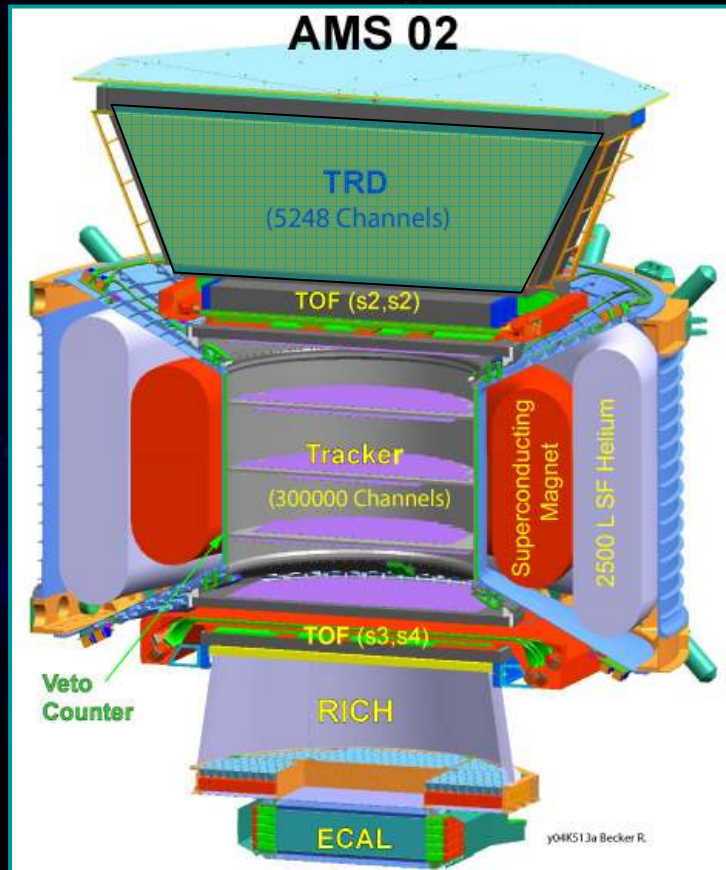
- $\gamma_{\text{protone}} \approx 1$
- $\gamma_{\text{elettrone}} \approx 1000$



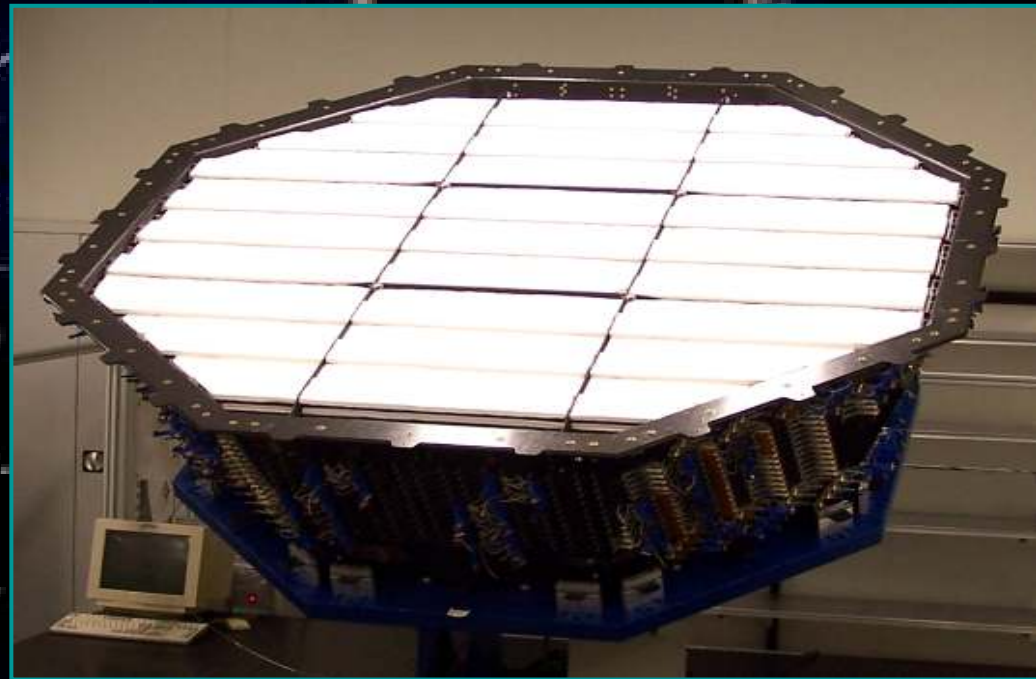
Per una particella con $\gamma = 10^3$ si ha tipicamente una
probabilità di emissione dell'1% ad ogni attraversamento

⇒ **bisogna massimizzare il numero di interfacce**

Transition Radiation Detector (TRD)



Fleece radiator + straw tubes (Xe:CO₂)
separazione e/p > 10² fino a 300 GeV
3D tracking



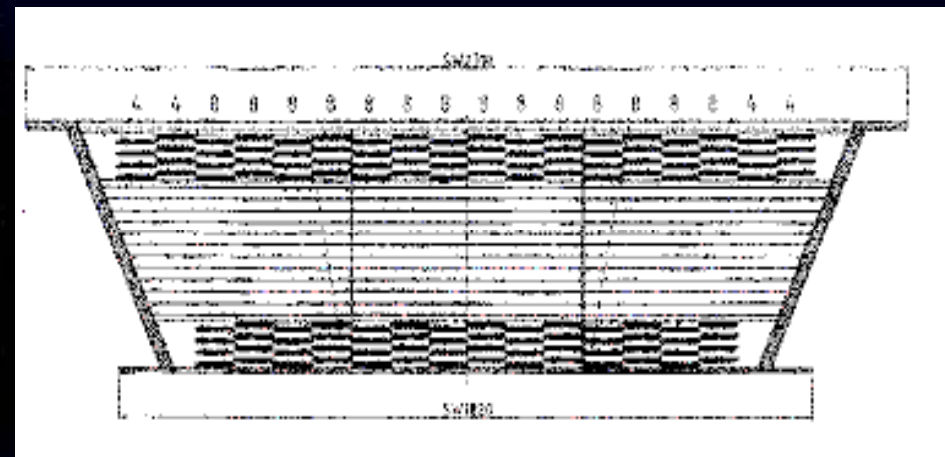
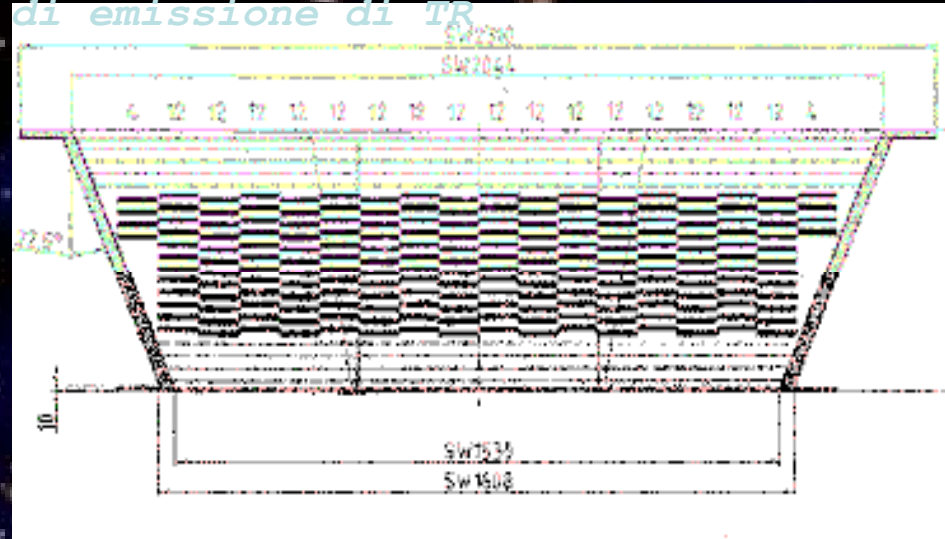
Transition Radiation Detector (TRD)

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

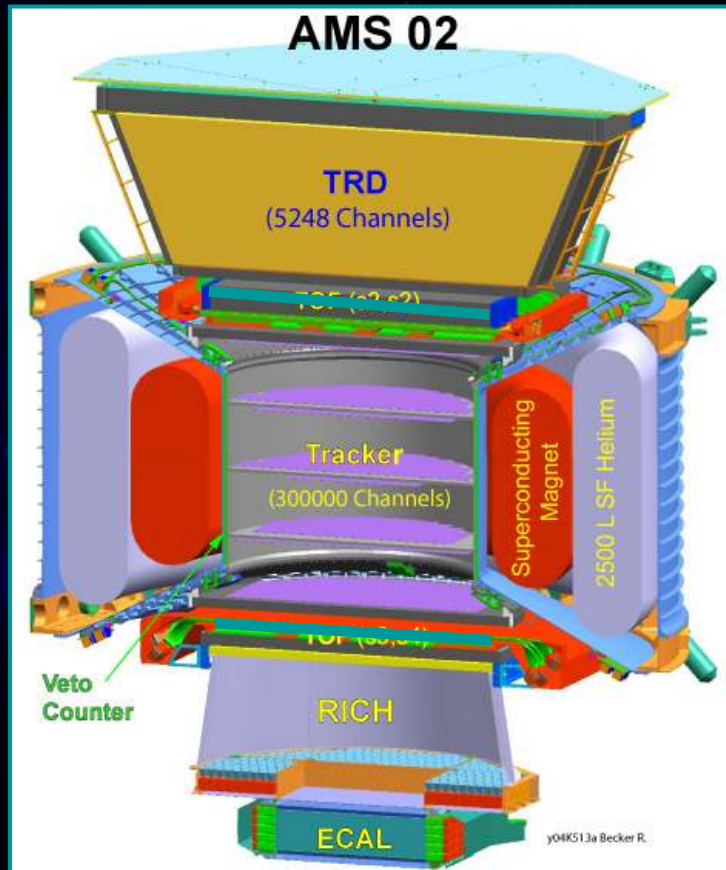
→ *aumenta la probabilità di emissione di TR*

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)



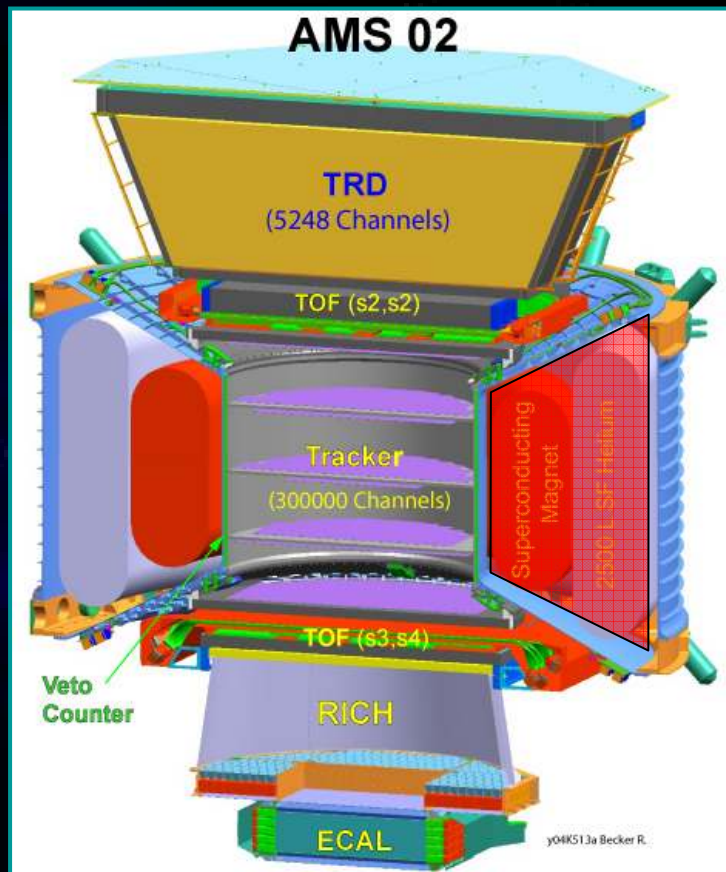
2+2 layers di scintillatori, $\Delta t \sim 160$ ps

**Main Trigger
separazione in Z**

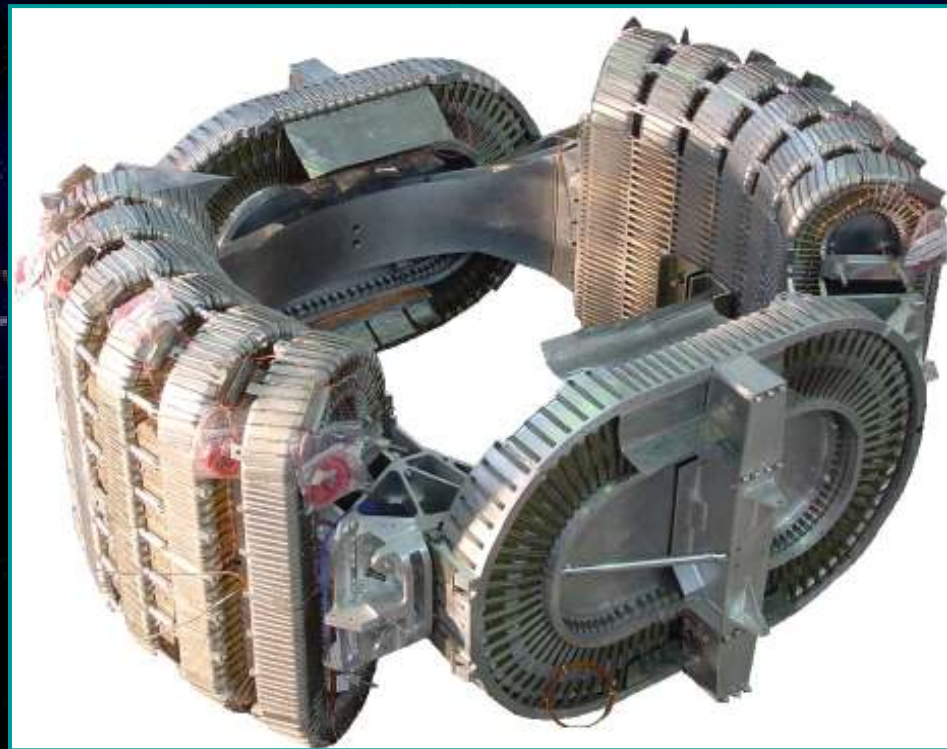
β con precisione di qualche %



Magnete Superconduttore

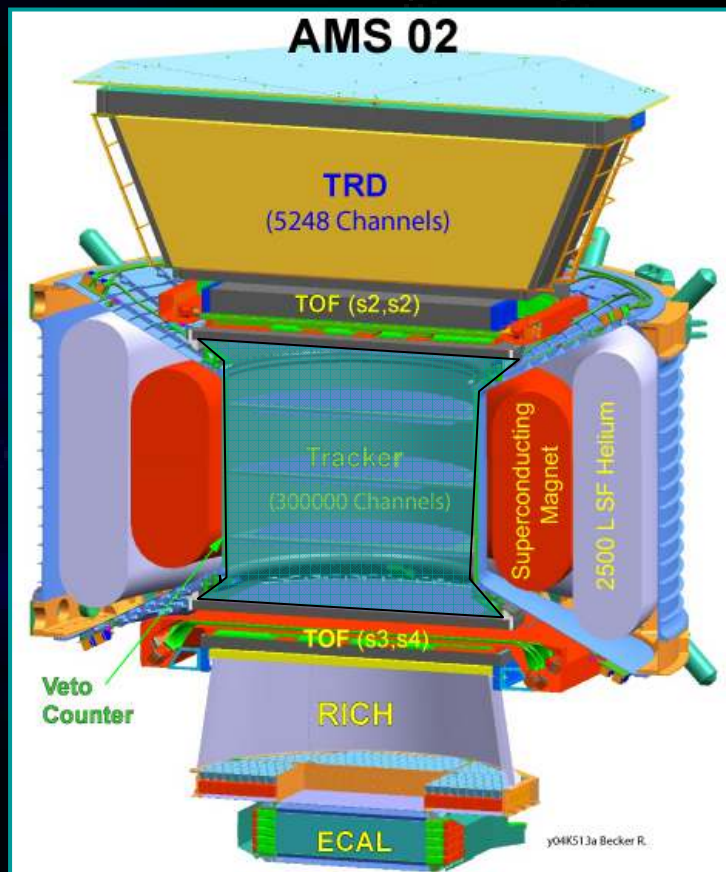


Raffreddato a 1.8 K da 2.5 m³ di He superfluido
Campo dipolare contenuto di 0.85 Tm²



*Primo magnete superconduttore
usato nello spazio*

Silicon Tracker

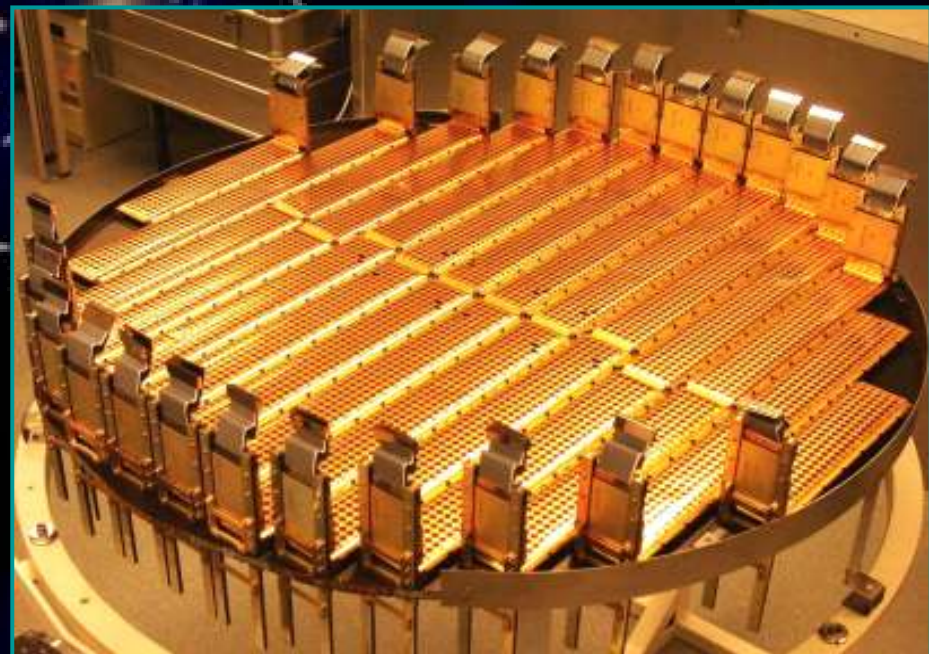


8 layers di microstrip detectors di silicio

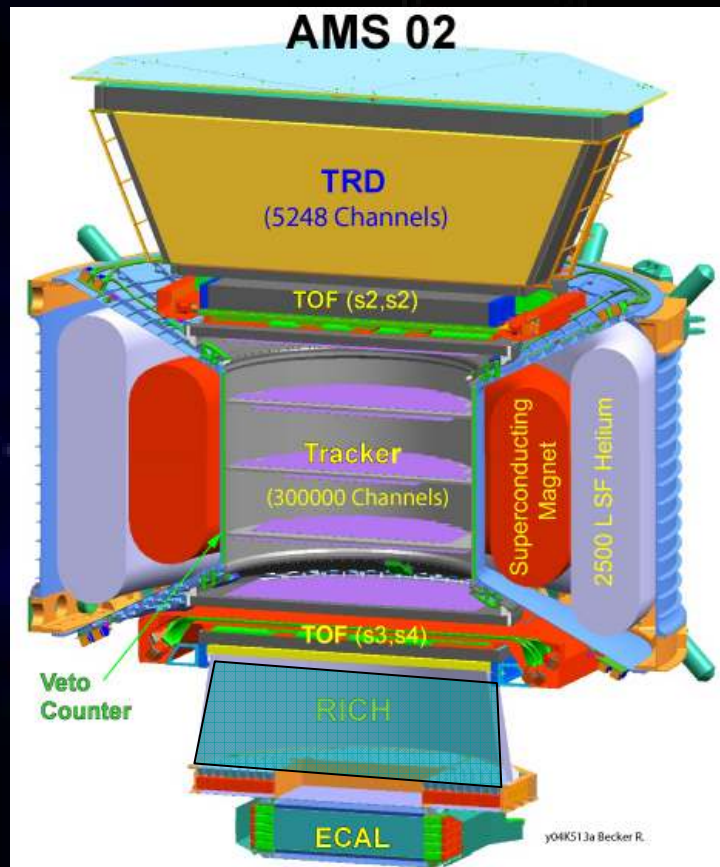
separazione in Z

R fino a 2-3 TeV

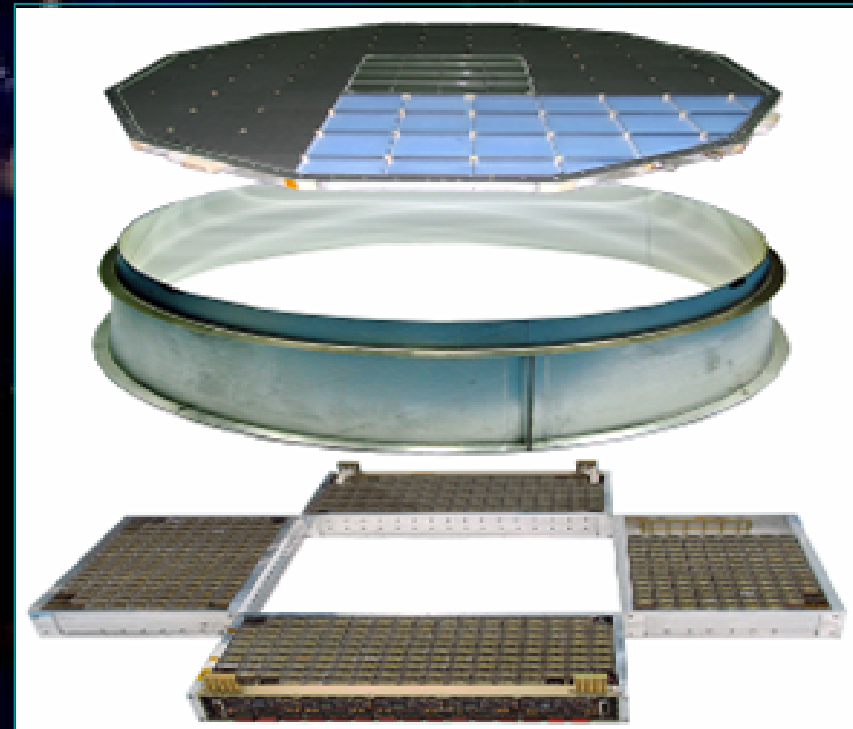
$\sigma_R < 2\%$ per $R < 10$ GeV



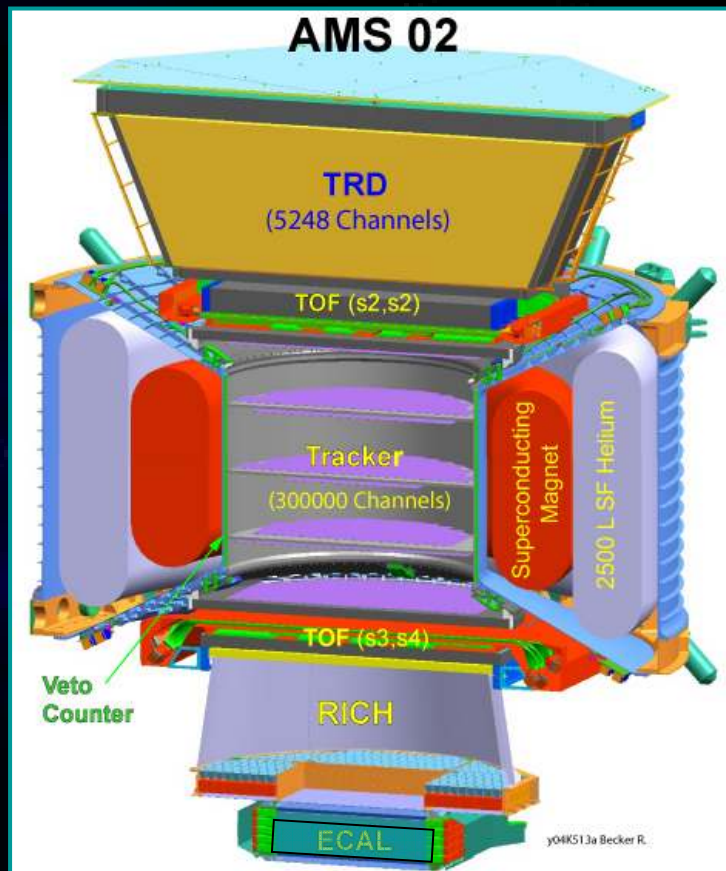
Ring Imaging Cherenkov (RICH)



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



Calorimetro Elettromagnetico



9 superlayers di piombo e fibre scintillanti

Standalone Trigger

rivelazione di e^\pm, γ

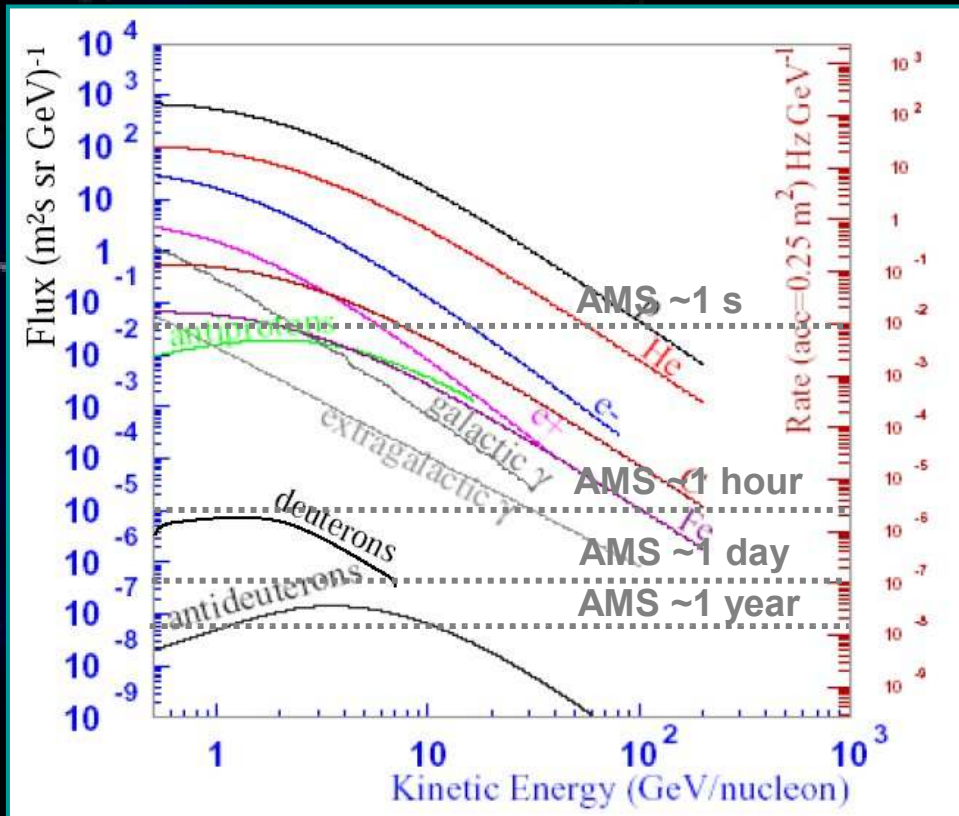
$\sigma_E < 3\%$ per $E > 10$ GeV

separazione $e/p > 10^3$

3D imaging



Misura dei flussi dei RC



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

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

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

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

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

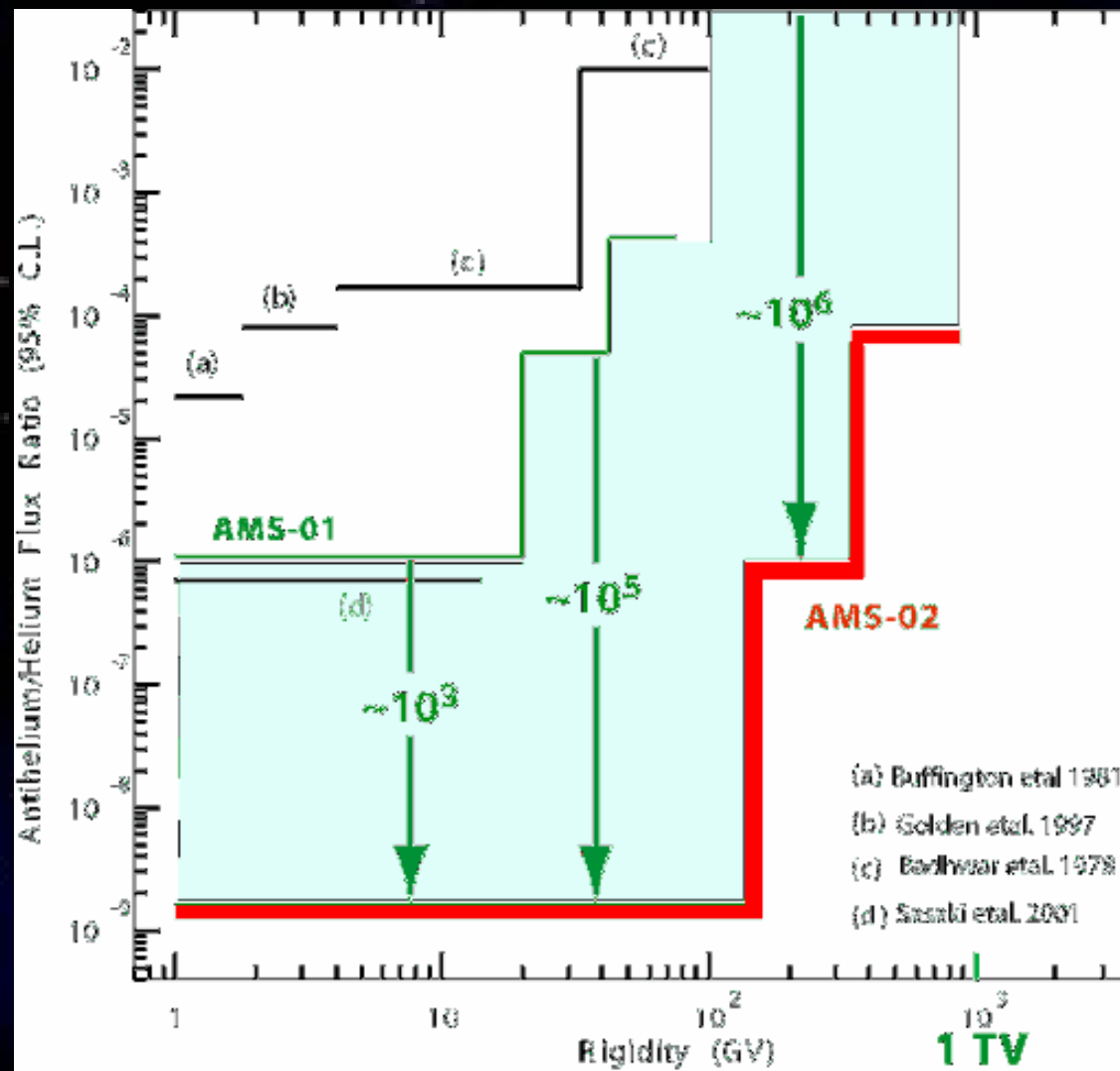
$$\bar{p}/e^- \sim 10^{-2} @ 10 \text{ GeV}$$

Particella

Range di energia

p	0.1 GeV al TeV
\bar{p}	0.5 a 300 GeV
e^-	0.1 GeV al TeV
e^+	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



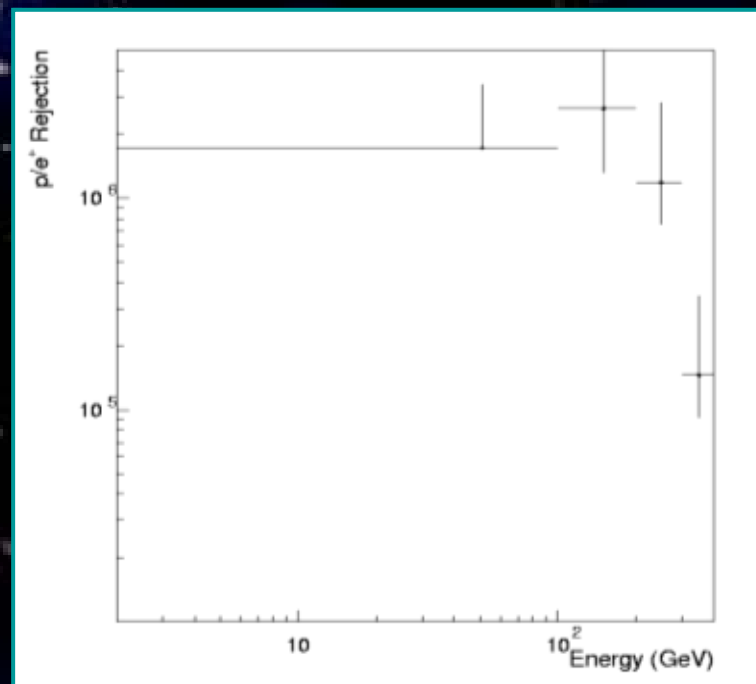
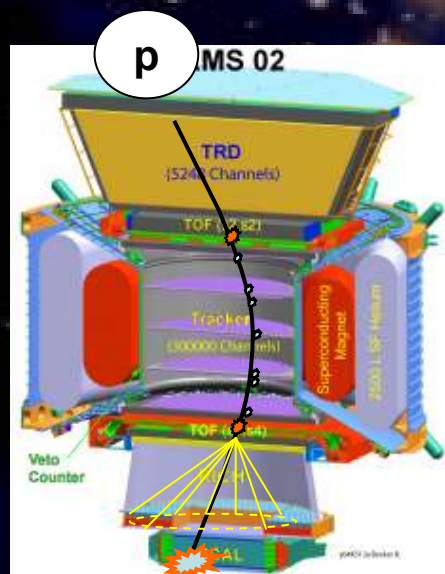
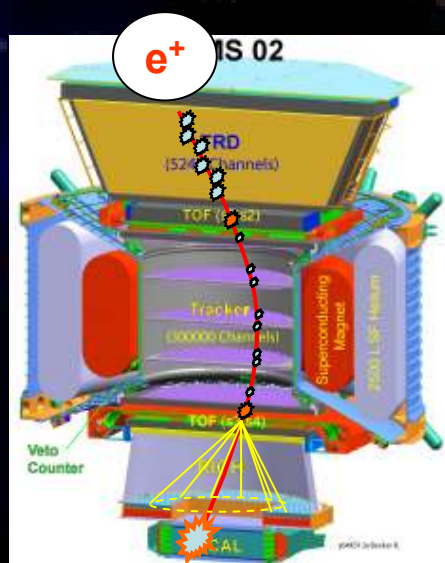
Positroni

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

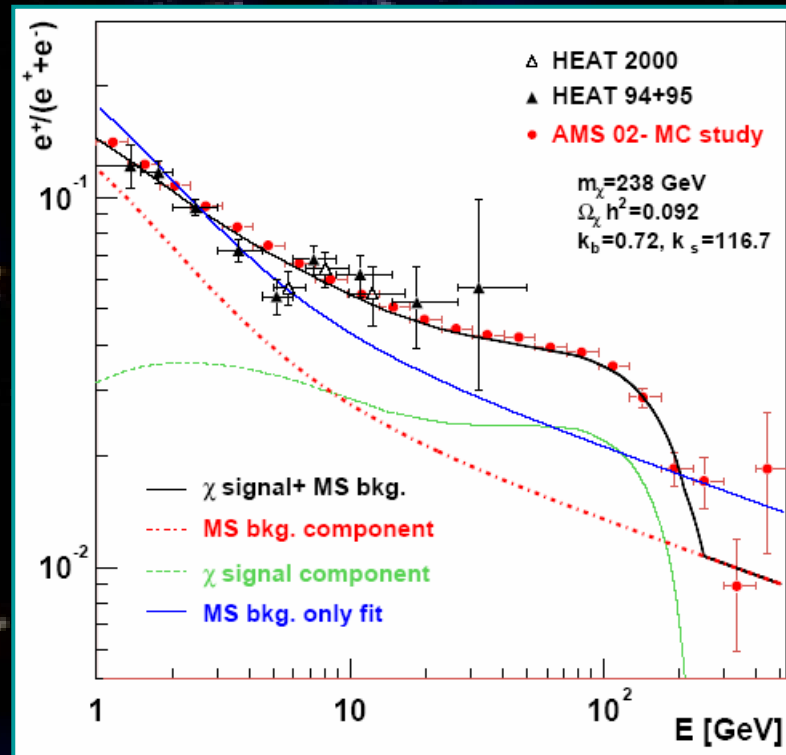
Fondi:

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



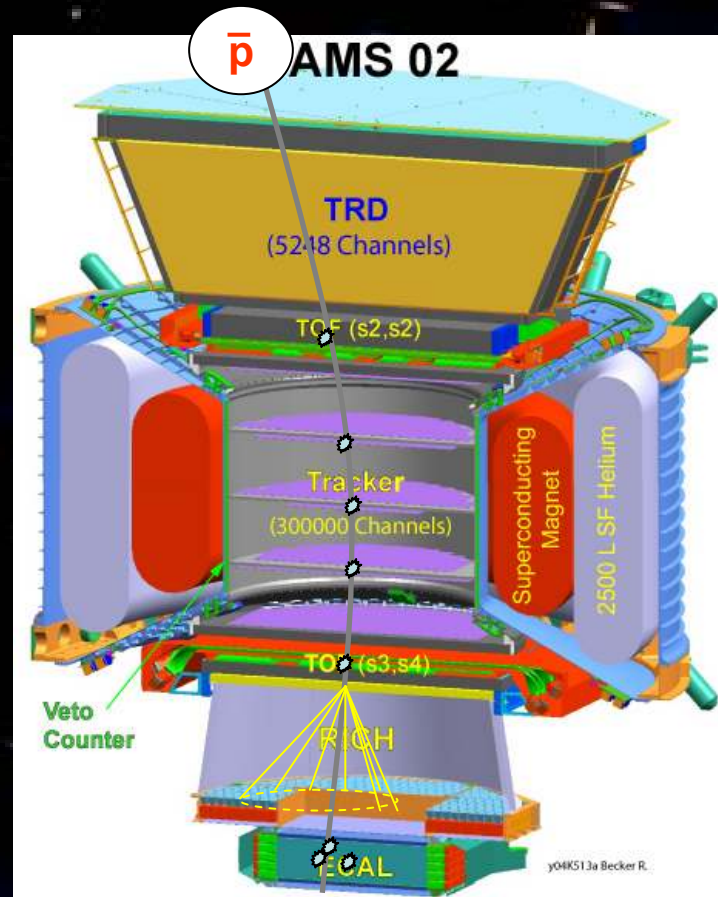
Positroni

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



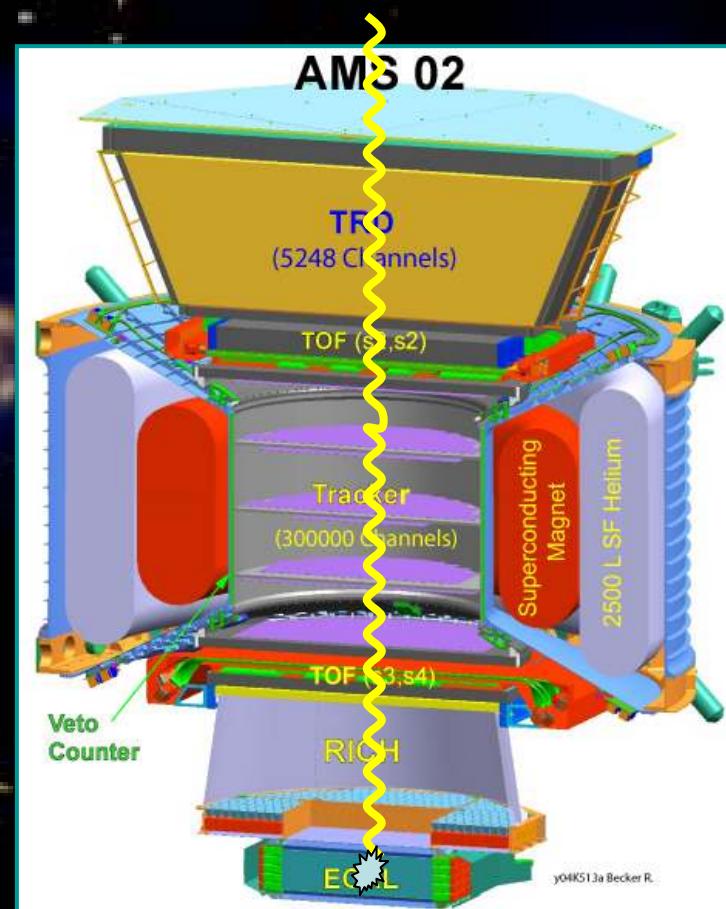
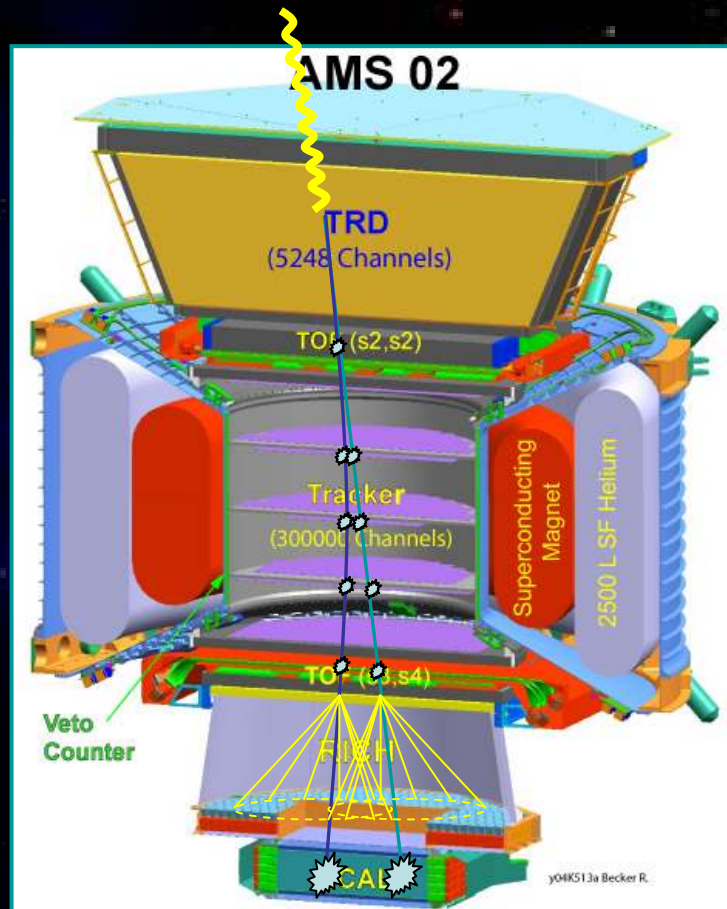
$m_\chi = 238 \text{ GeV}$, boost factor=116.7

Antiprotoni



Fotoni

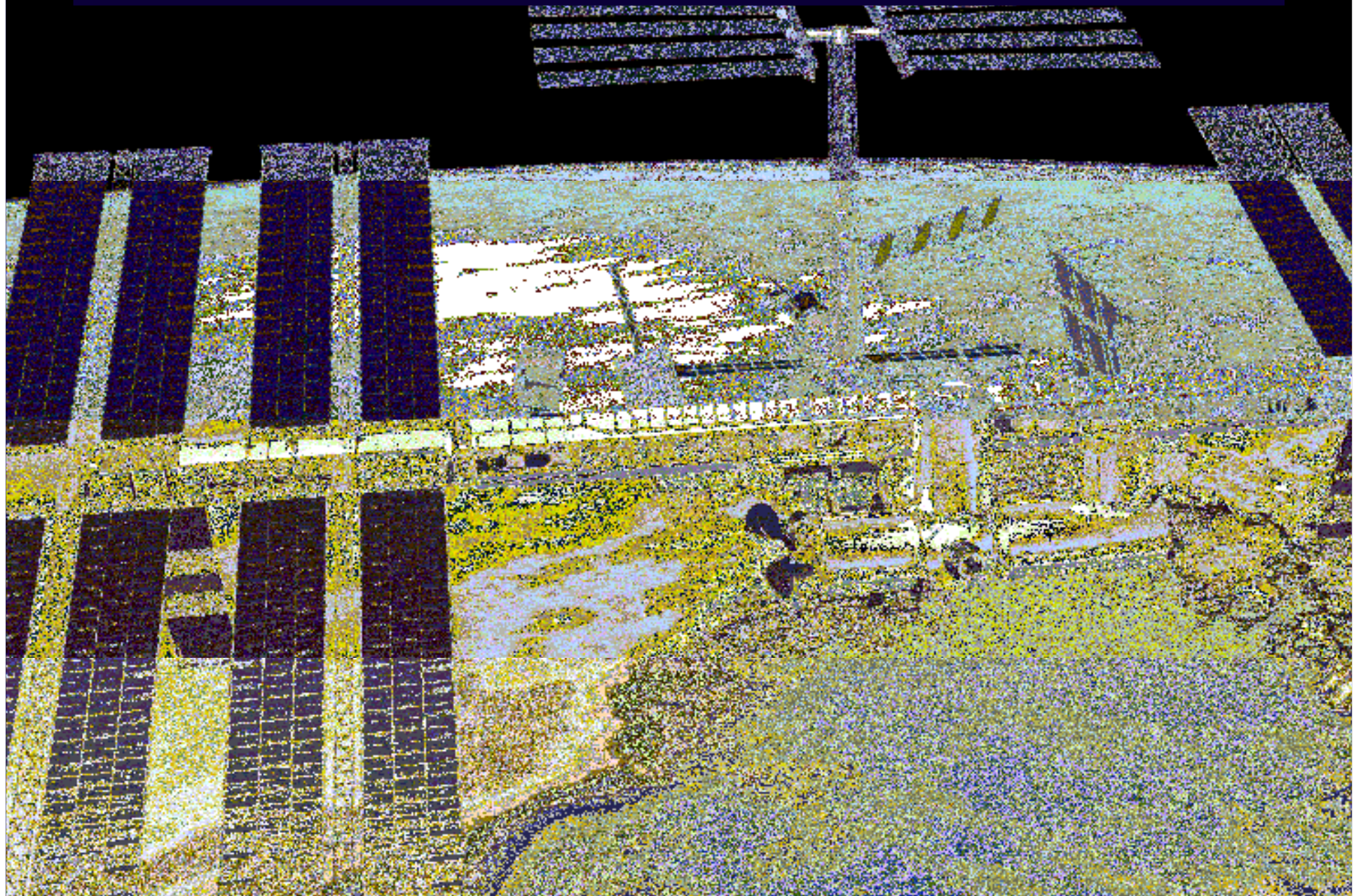
- Conversione di fotoni direzione dal Tracker, energia da Tracker+Ecal
- Singolo fotone direzione ed angolo dall'Ecal



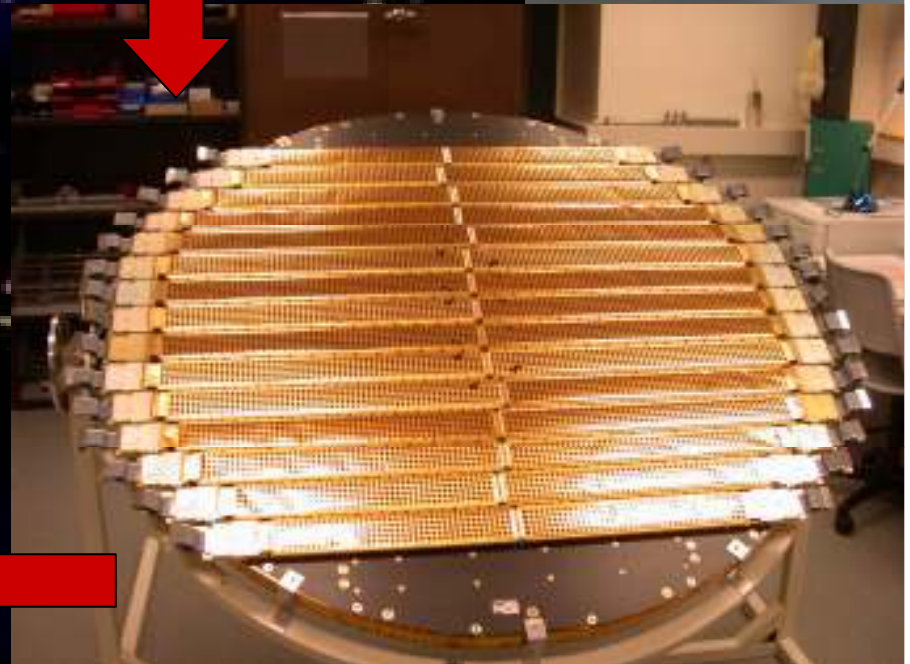
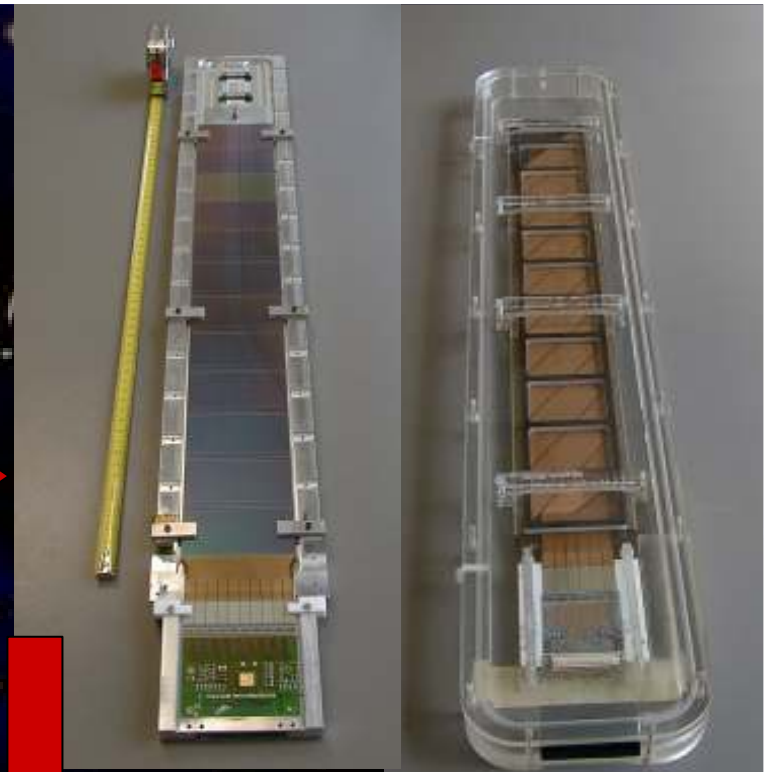
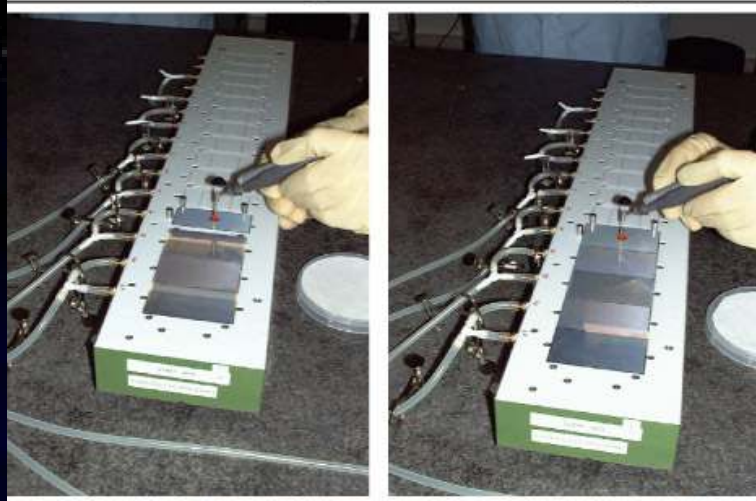
Riassumendo

- 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

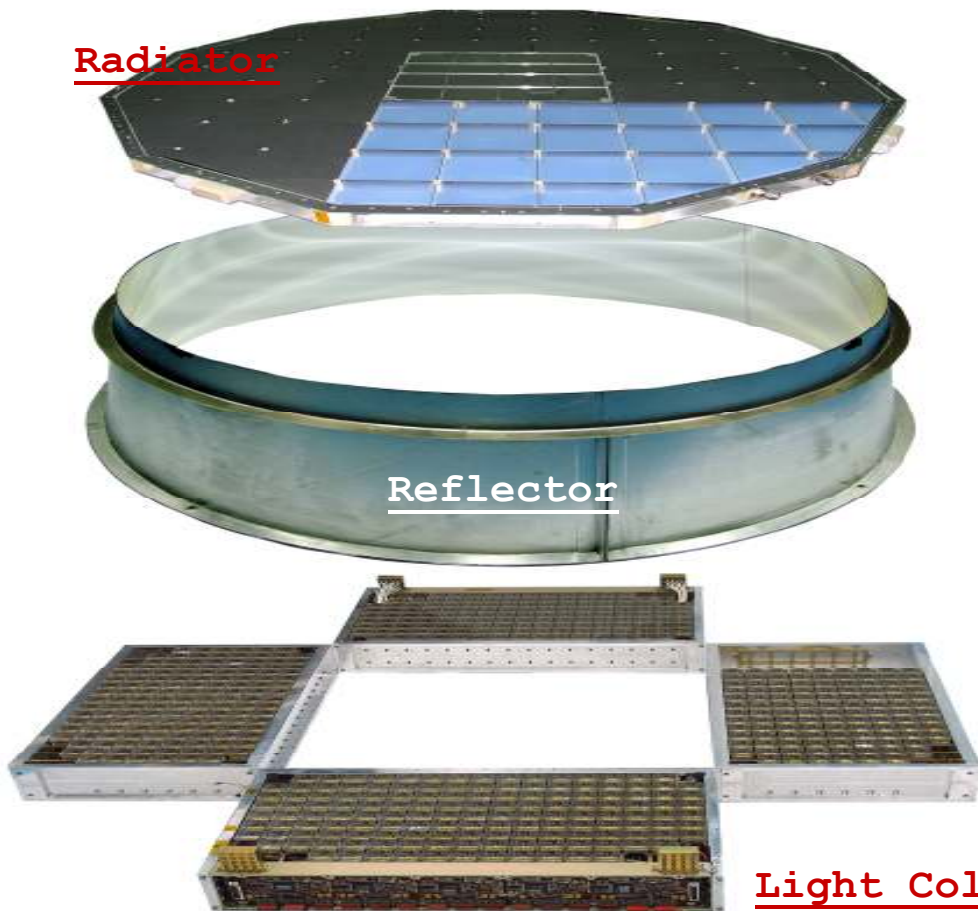


ECAL

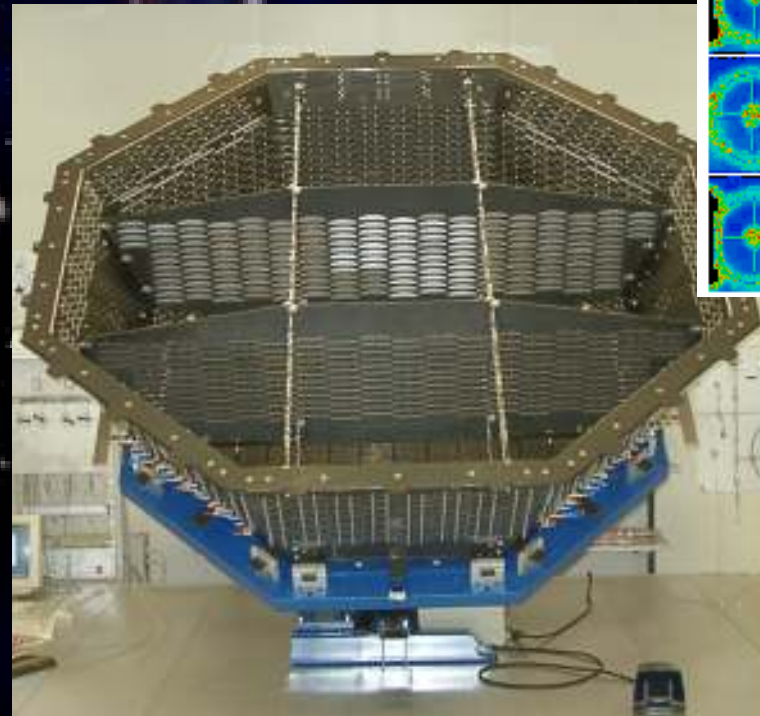
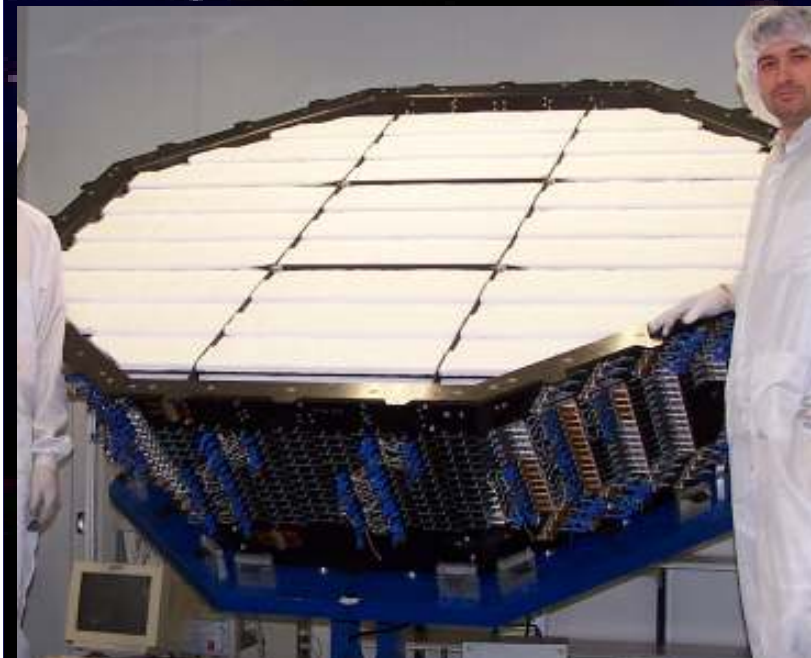
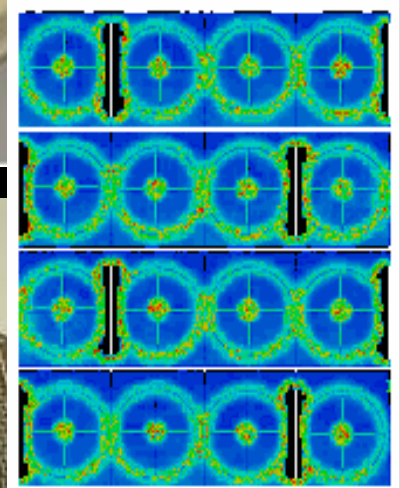
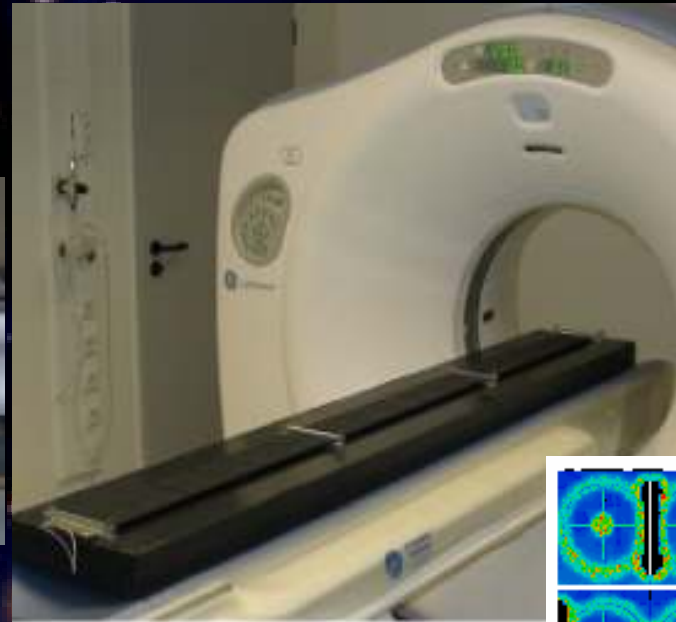


RICH

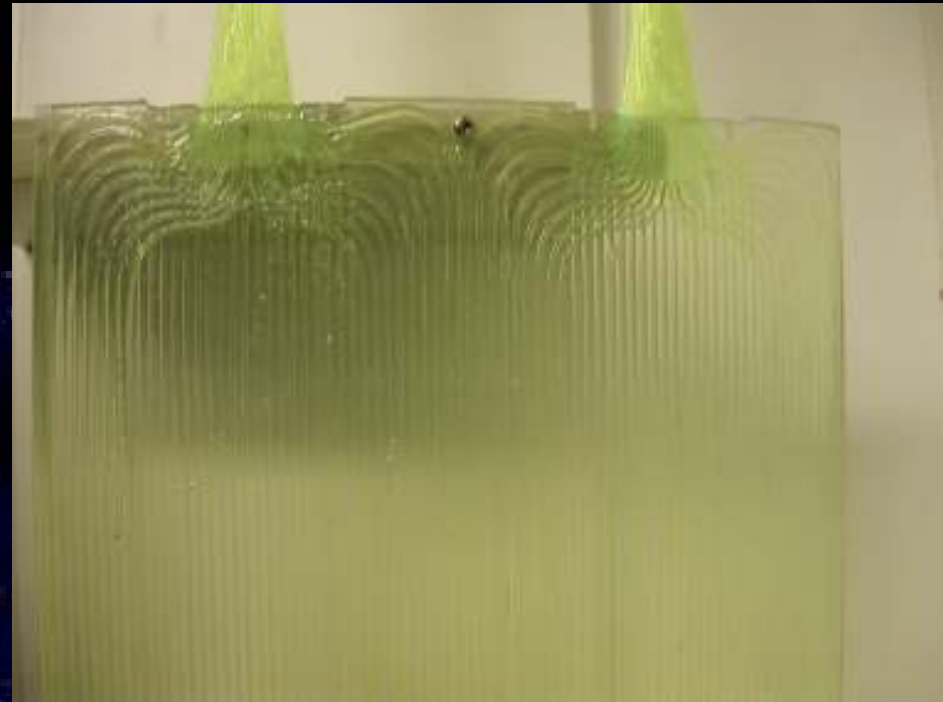
Radiator



TRD



TOF



L-TOF



MAGNETE

