

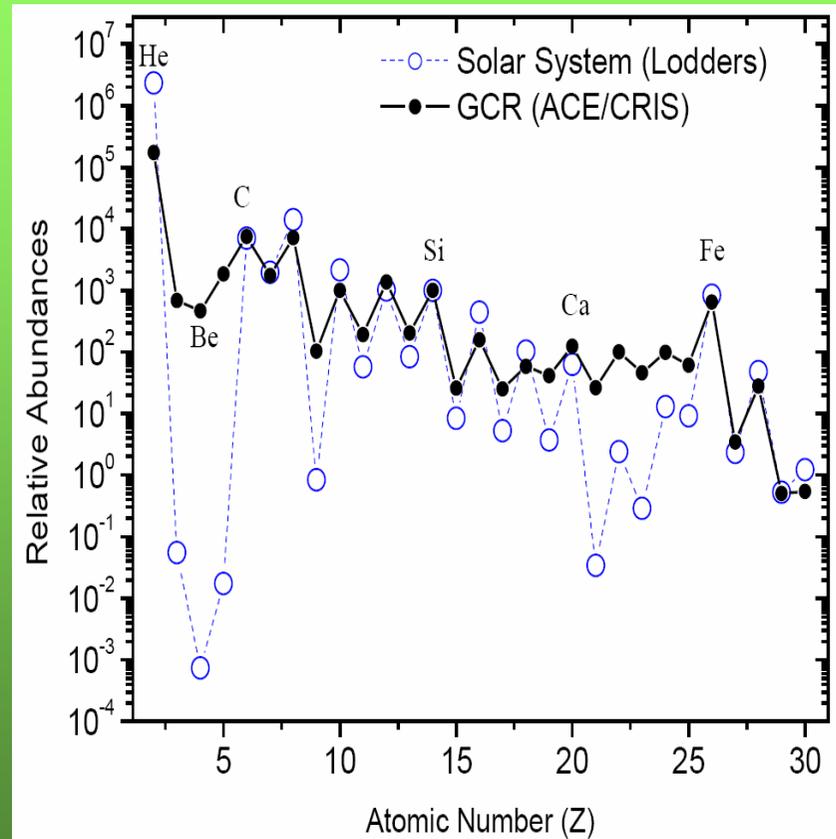
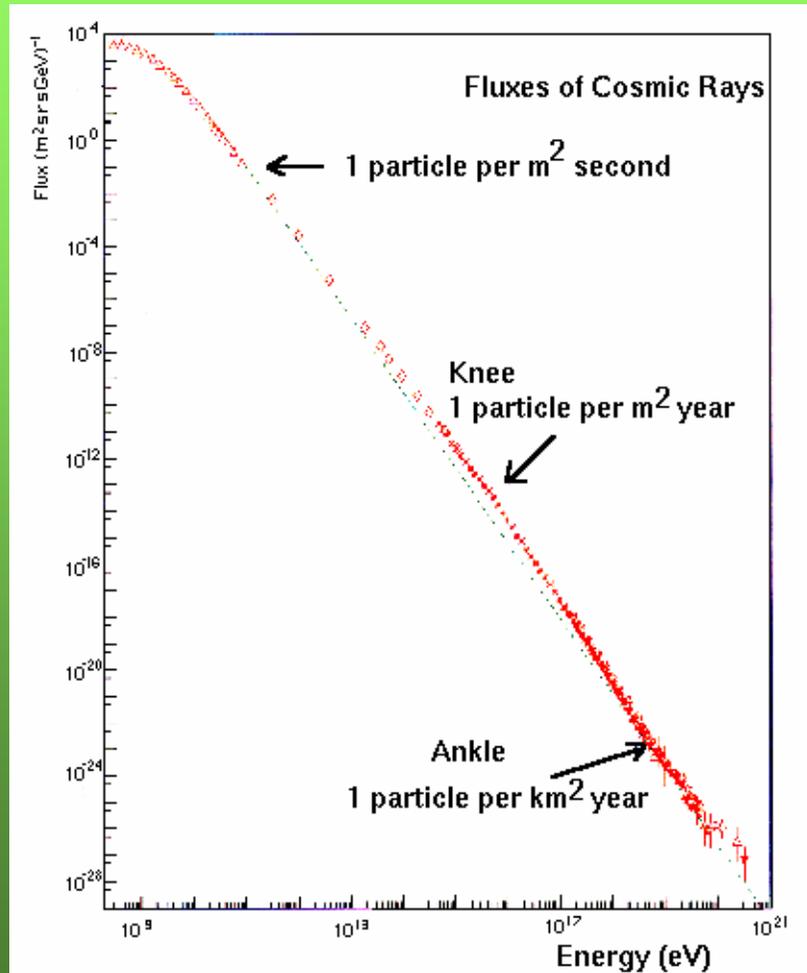
RAGGI COSMICI DI ENERGIA INFERIORE A 10^{15} eV

Mirko Boezio - INFN Trieste

OUTLINE

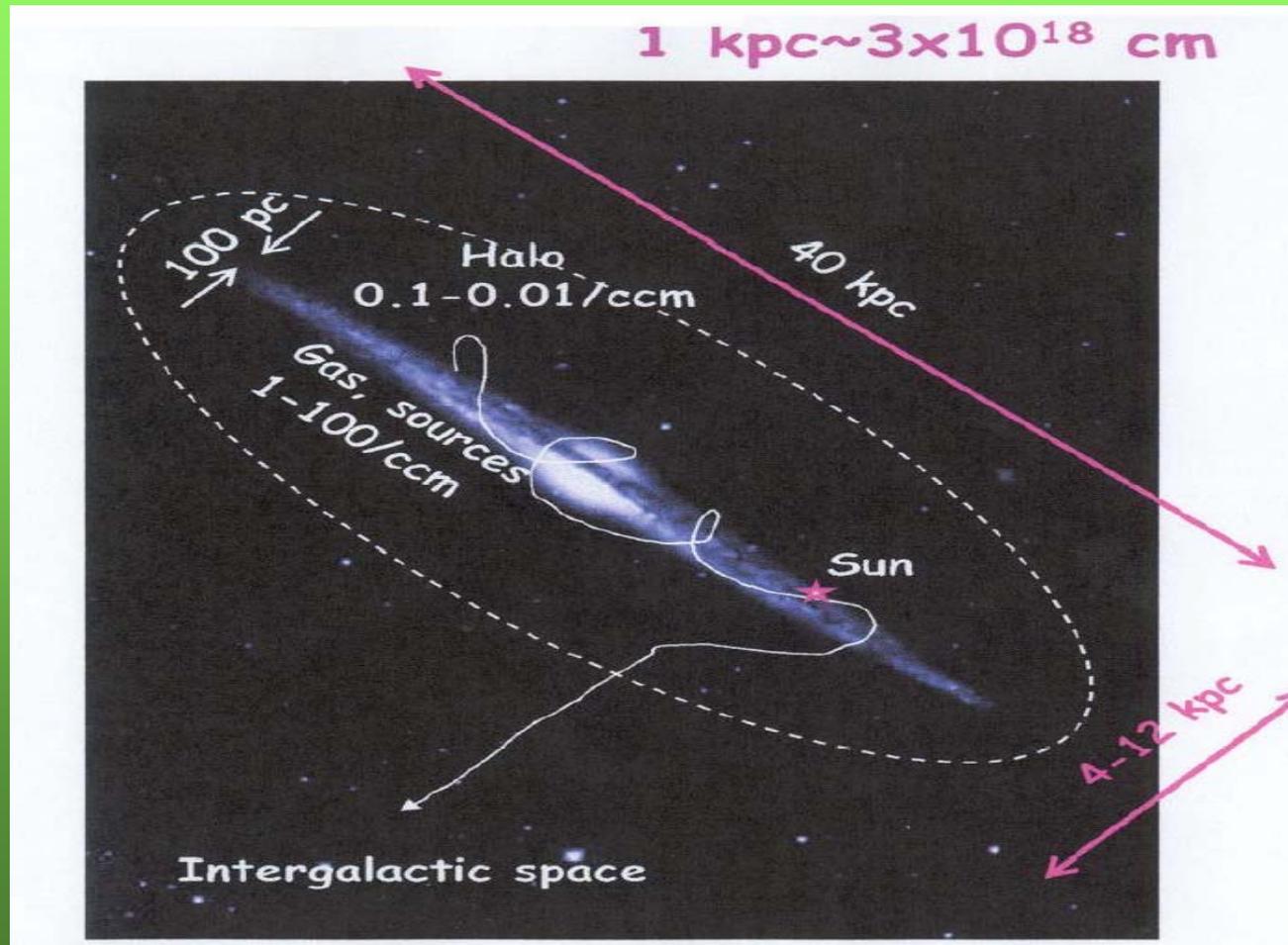
- Spettro energetico dei raggi cosmici
- Origine e propagazione nella Galassia dei raggi cosmici (energie $< 10^{15}$ eV)
- Antimateria ed antiparticelle
- Raggi cosmici nell'atmosfera

Raggi Cosmici

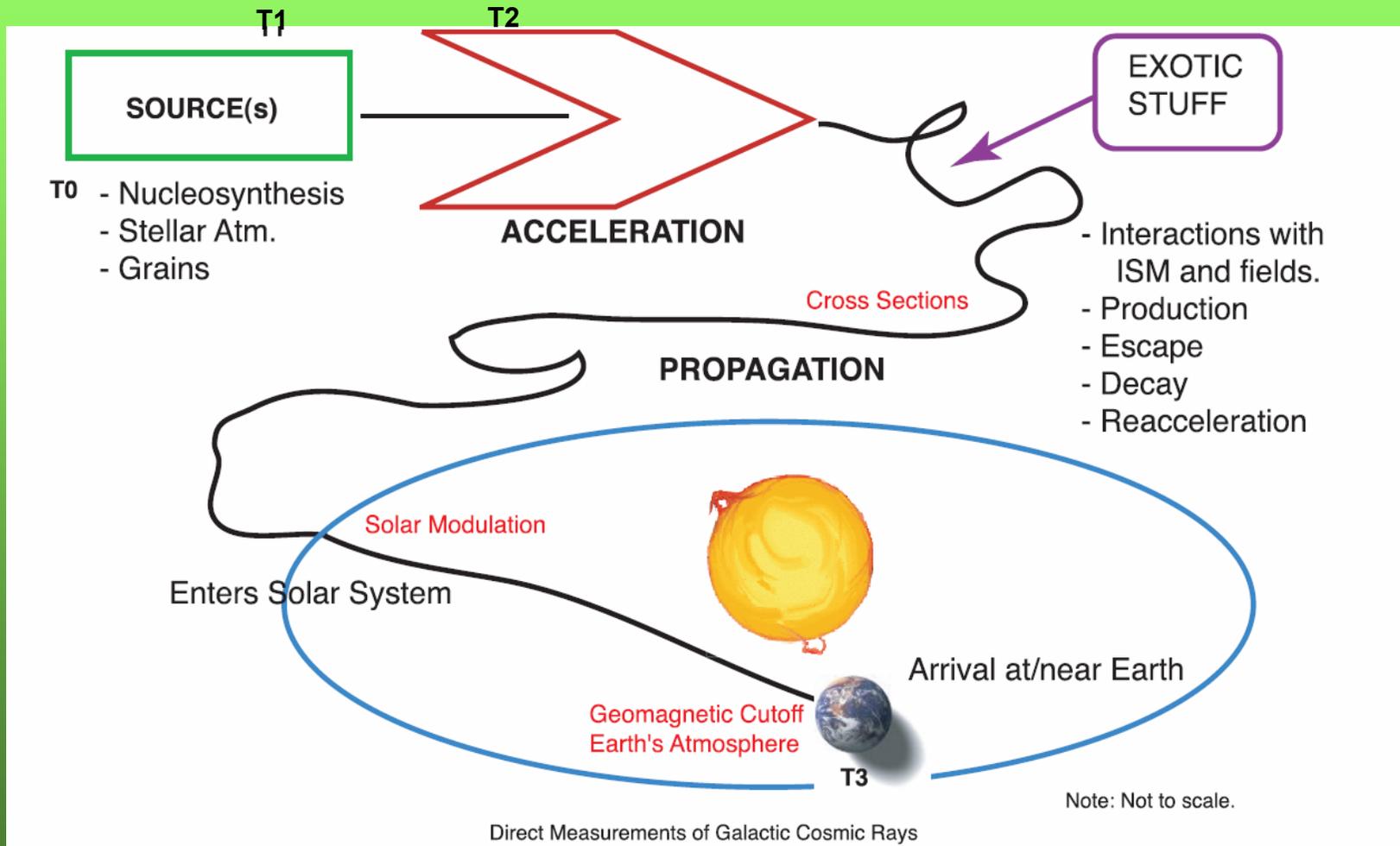


Solar System: Lodders, ApJ 591 (2003) 1220
GCR: M. Israel, ECRS 2004

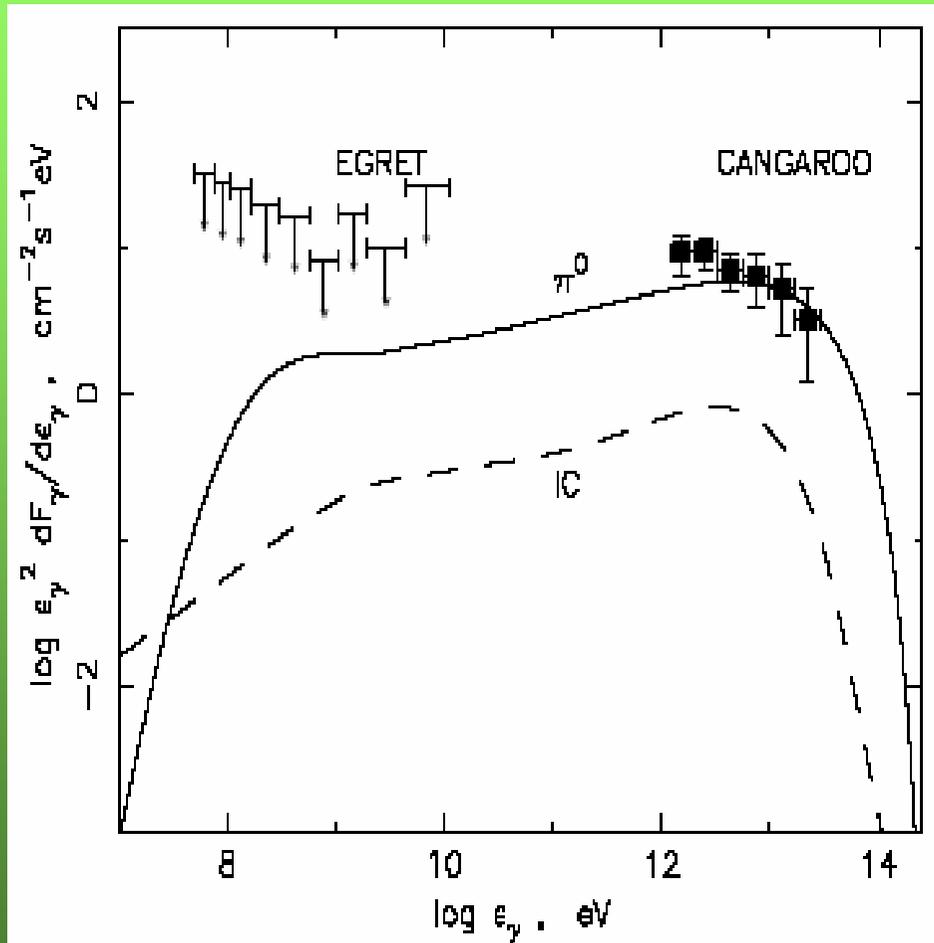
Raggi Cosmici nella Via Lattea



Vita dei Raggi Cosmici



Sorgenti di Raggi Cosmici: SNR



Flusso di raggi γ da
SN 1006 in funzione
dell'energia dei raggi γ

E.G. Berezhko et al., ICRC2003, 2437

Propagazione dei CR nella Galassia

$$\frac{\partial \psi(\vec{r}, p, t)}{\partial t} = q(\vec{r}, p) \text{ sources (SNR, nuclear reactions...)}$$

$$\text{diffusion} + \vec{\nabla} \cdot [D_{xx} \vec{\nabla} \psi - \vec{V} \psi] \text{ convection}$$

$$\text{diffusive reacceleration} + \frac{\partial}{\partial p} \left[p^2 D_{pp} \frac{\partial \psi}{\partial p} \right]$$

$$\text{E-loss} - \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{dp}{dt} \psi - \frac{1}{3} p \vec{\nabla} \cdot \vec{V} \psi \right] \text{ convection}$$

$$\text{fragmentation} - \frac{\psi}{\tau_f} - \frac{\psi}{\tau_d} \text{ radioactive decay}$$

From J. Ormes, ECRS 2004

$\psi(\vec{r}, p, t)$ – density per total momentum

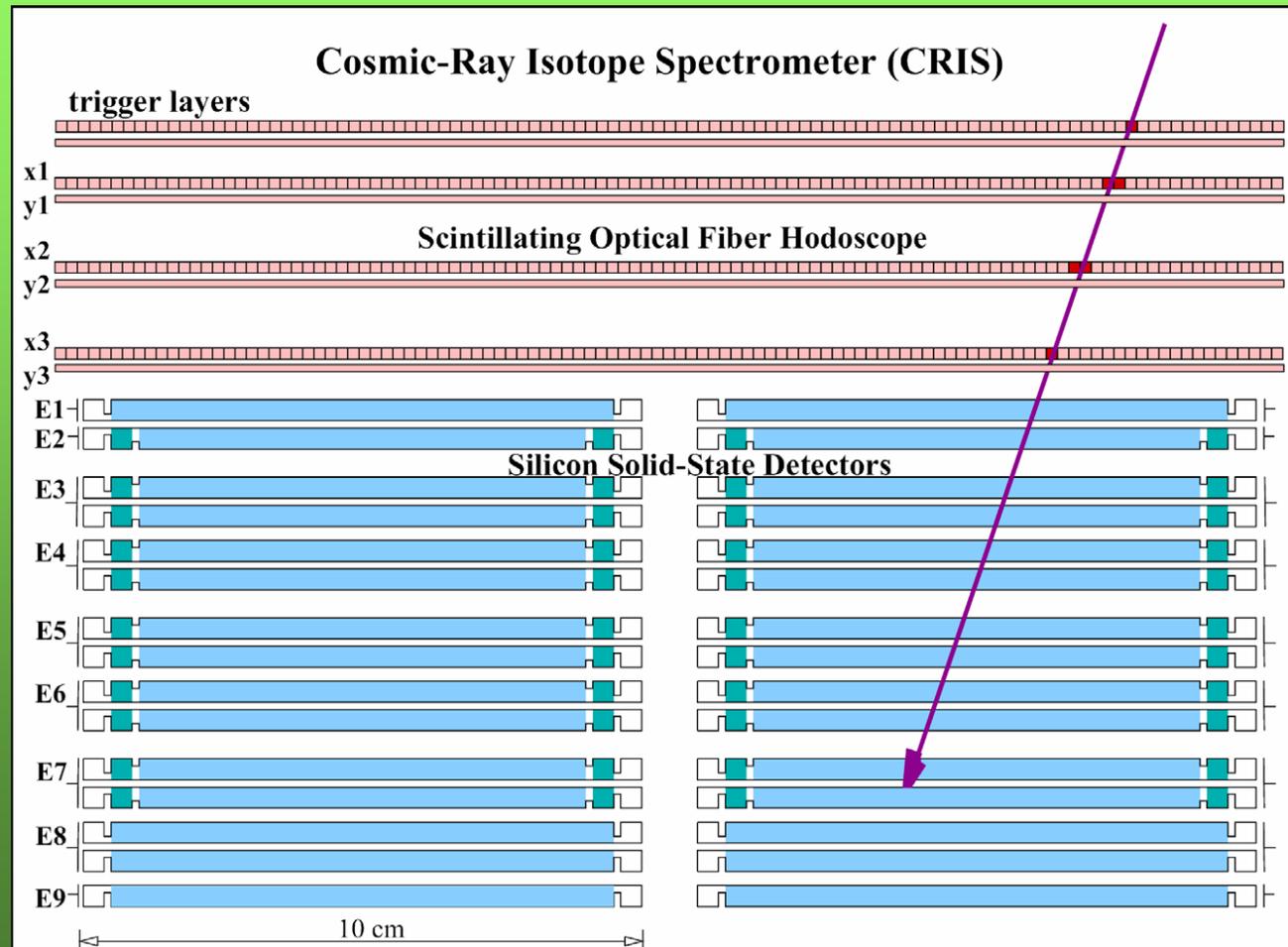
Misure isotopiche



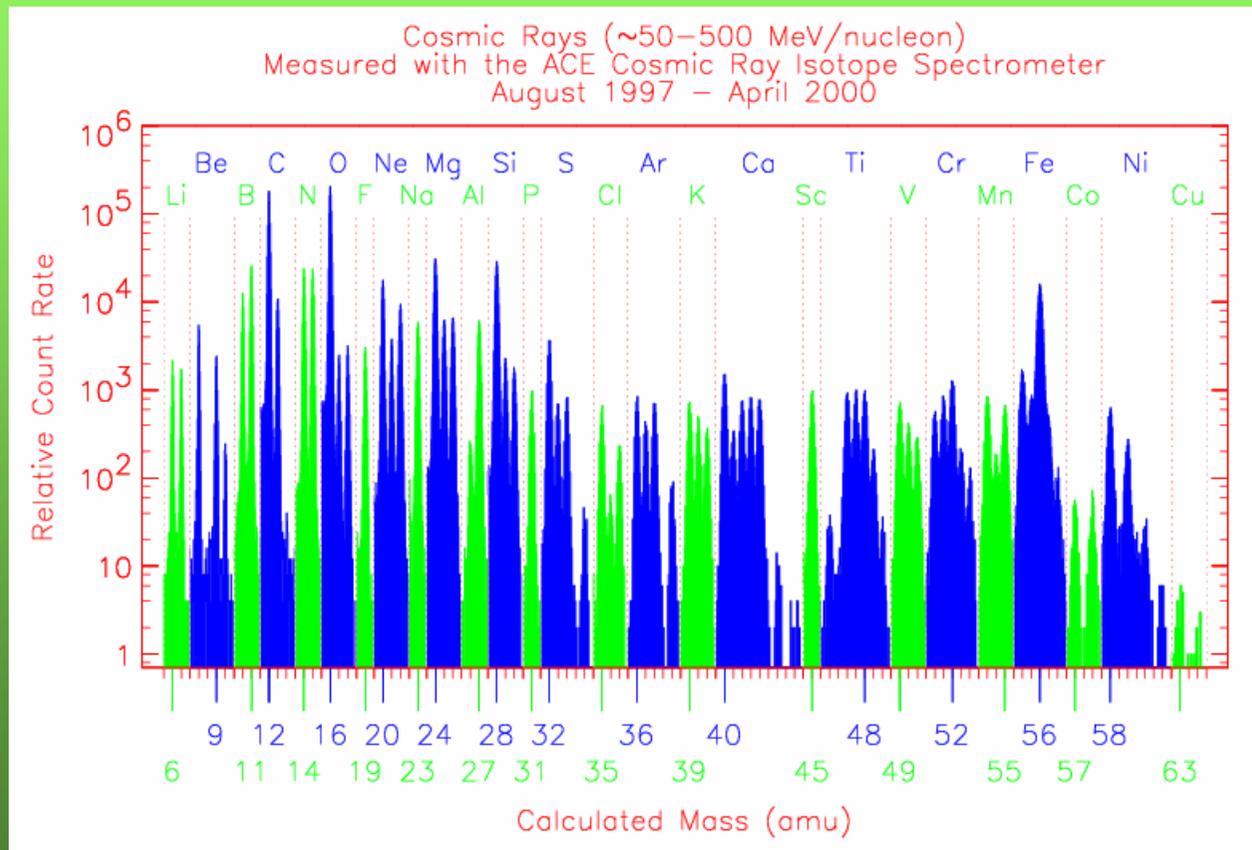
Cosmic Ray Isotope Spectrometer (CRIS) nell'Advance Composition Explorer (ACE) lanciato in orbita il 25 agosto 1997.

Identifica isotopi Li-Zn
~50 - 500 MeV/nucleone

Misure Isotopiche



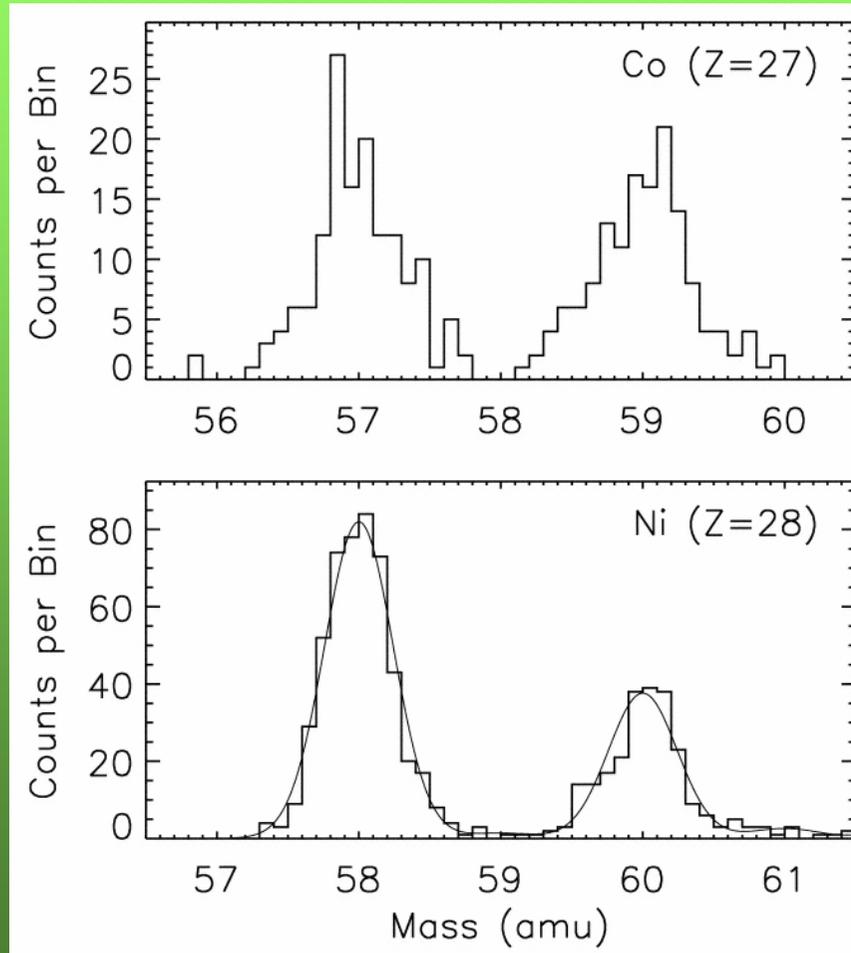
Misure Isotopiche



M. Israel, ECRS 2004

Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

Cosa viene accelerato da SN



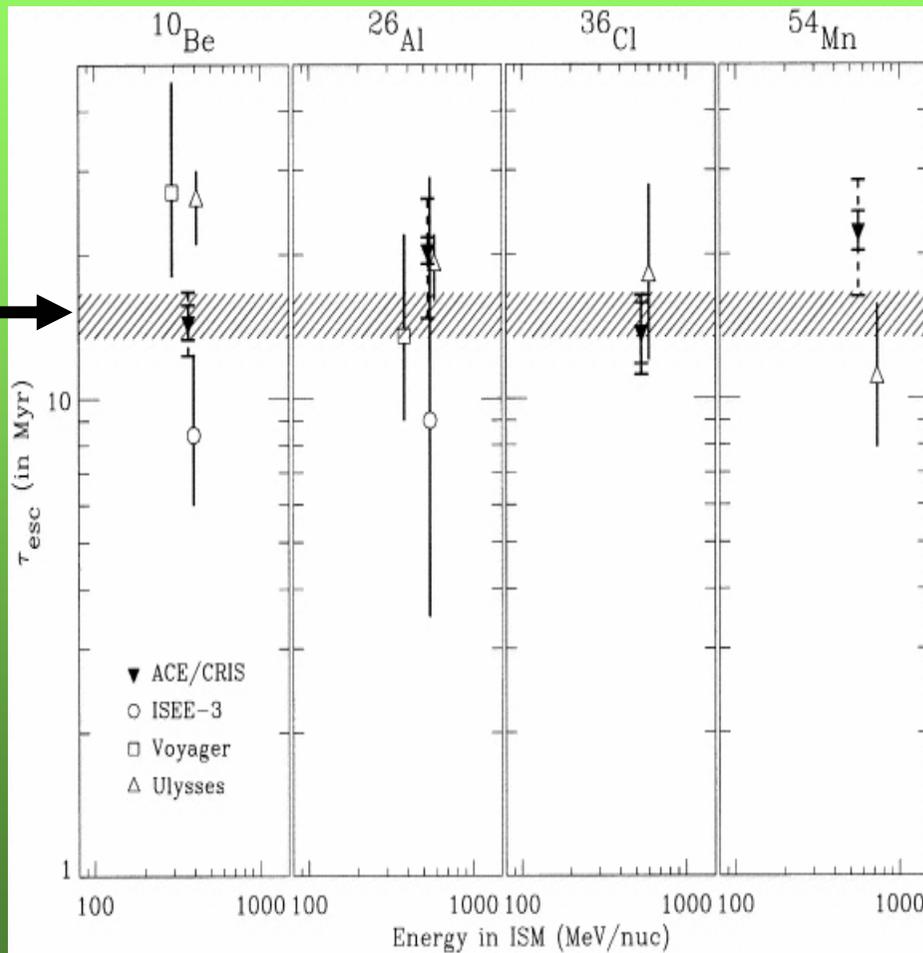
$^{59}\text{Ni} + e \rightarrow ^{59}\text{Co}$ $T_{1/2} = 0.76 \times 10^5$ anni
decadimento β is energeticamente proibito ed il nucleo ^{59}Ni è stabile. Durante la fase di accelerazione i nuclei sono strappati di tutti i loro elettroni. Quindi, visto che il ^{59}Ni è assente dai Raggi cosmici misurati a terra devono essere intercorsi più di 10^5 anni tra nucleosintesi ed accelerazione. Perciò si può concludere che il materiale accelerato dalle SN proviene dal mezzo interstellare adiacente. **Importante notare, però, che questo è sperimentalmente provato solo per la componente di bassa energia dei CR.**

M. Israel, ECRS 2004

Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

Tempo di confinamento nella Galassia

15.0±1.6
Myr



β -decay secondaries

¹⁰Be 1.5 Myr

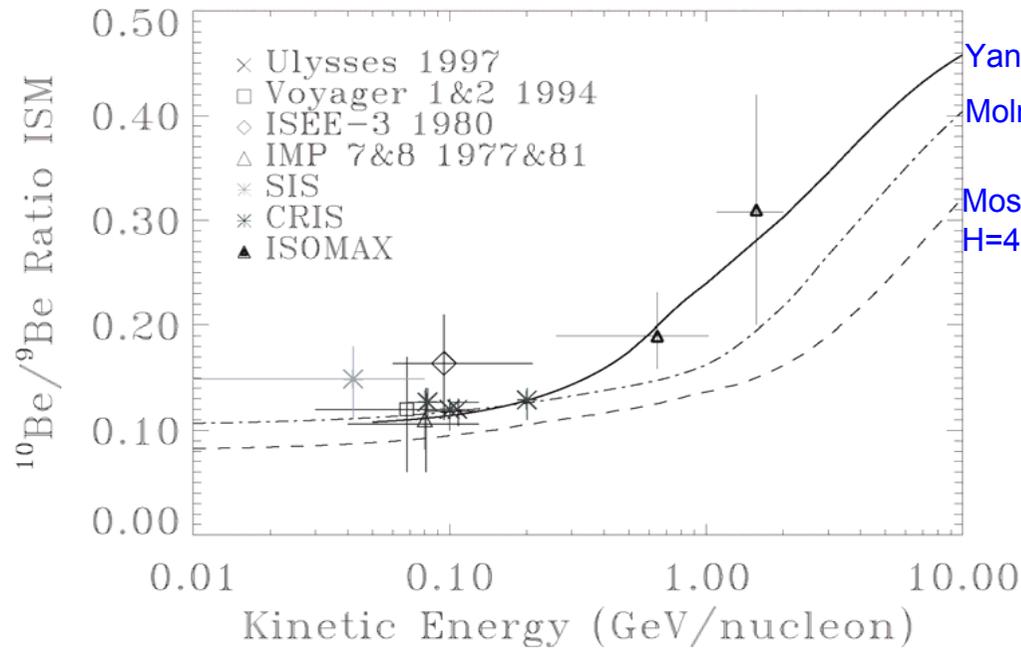
²⁶Al 0.71 Myr

³⁶Cl 0.30 Myr

⁵⁴Mn ~0.68 Myr (stima teorica del decadimento β , in laboratorio decade per cattura elettronica)

Yanasak et al., ApJ, **563**
(2001) 768

Propagazione nella Galassia



Yanasak et al., ApJ 563 (2001) 768, $n=0.34 \text{ cm}^{-3}$

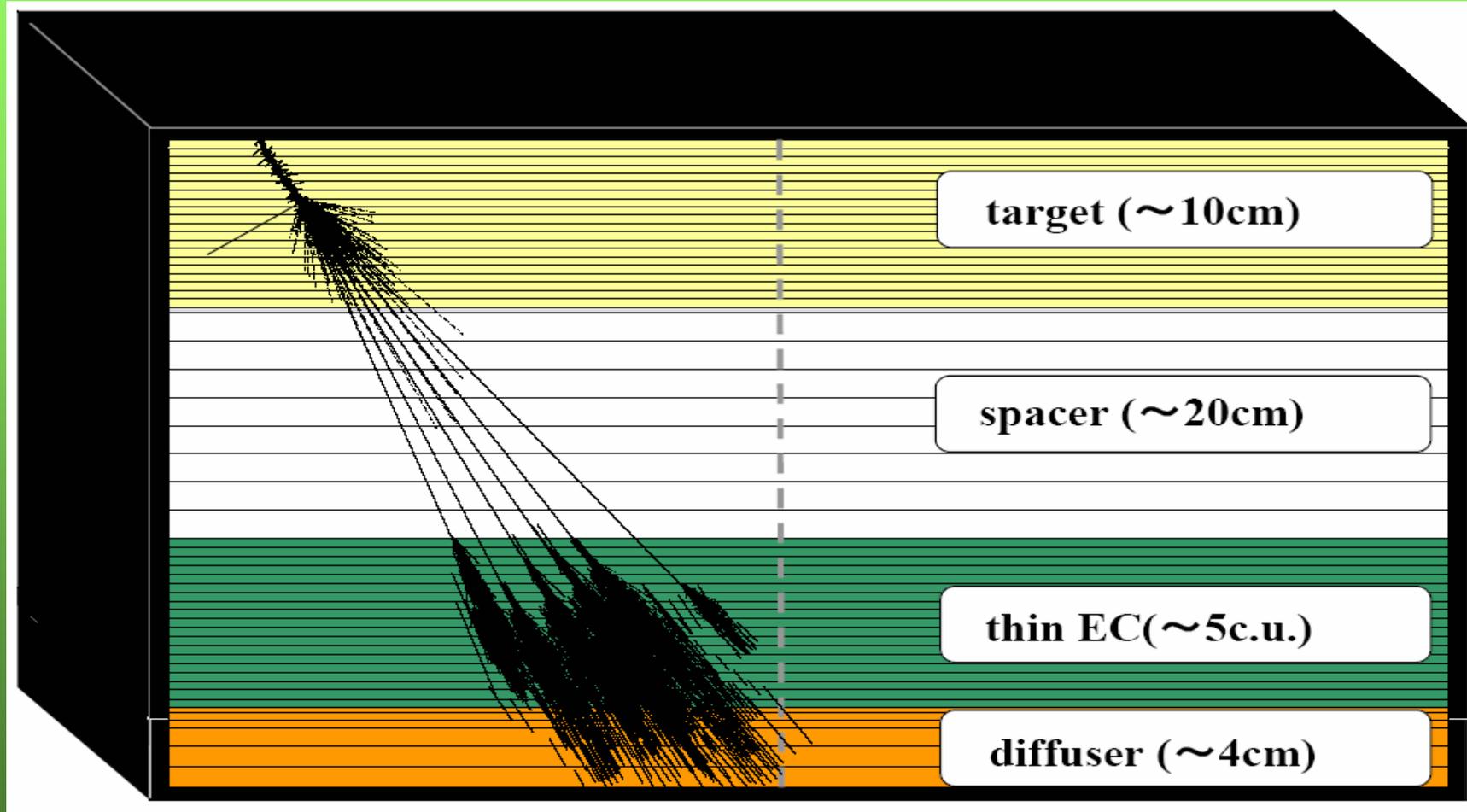
Molnar & Simon, 27th ICRC 1860, $n=0.23 \text{ cm}^{-3}$

Moskalenko & Strong, Ap&SS 272 (2000), 247,
 $H=4 \text{ kpc}$

Hams et al., 27th ICRC, 1655

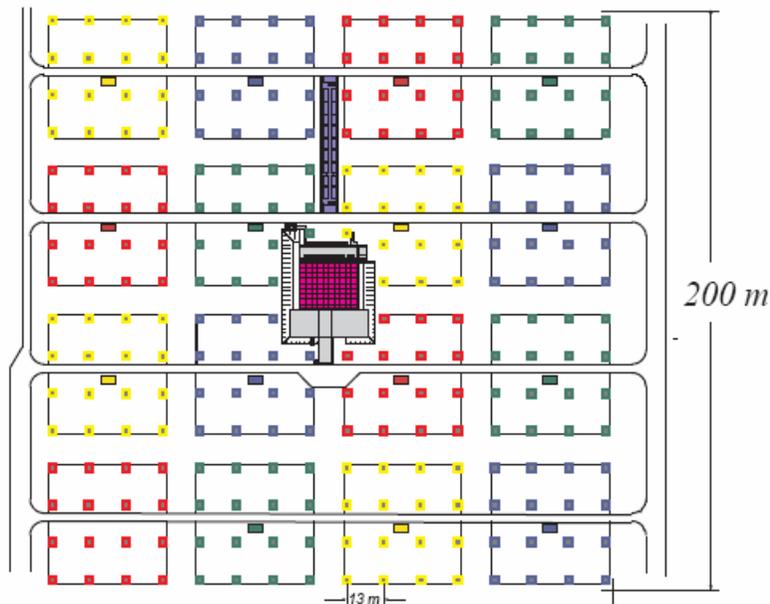
Assieme alla misura su B/C, la frazione dell'isotopo ^{10}Be ($^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$) può essere usata per determinare dei parametri dei modelli di propagazione dei raggi Cosmici nella Galassia

Apparati sperimentali: RUNJOB

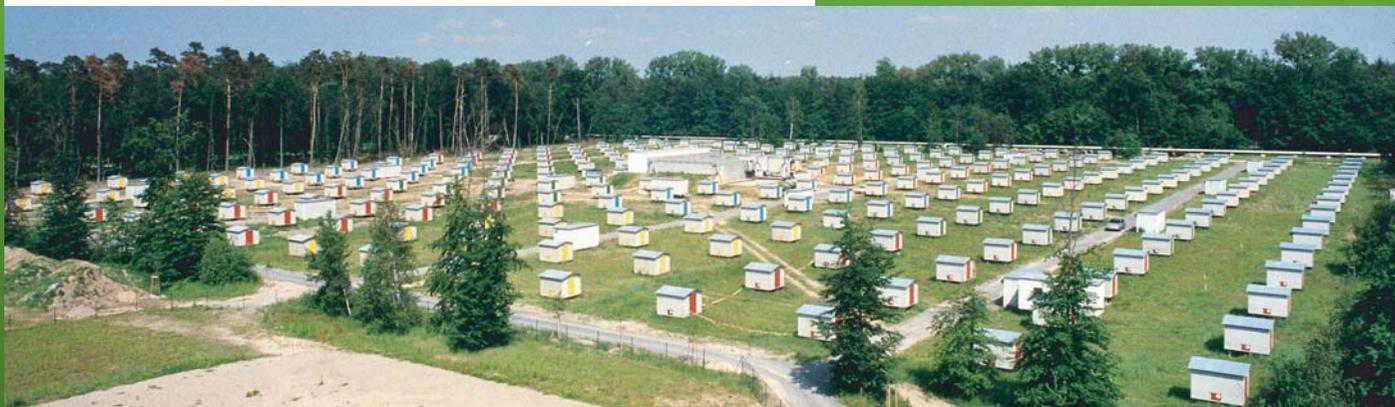


Apparati sperimentali: KASCADE

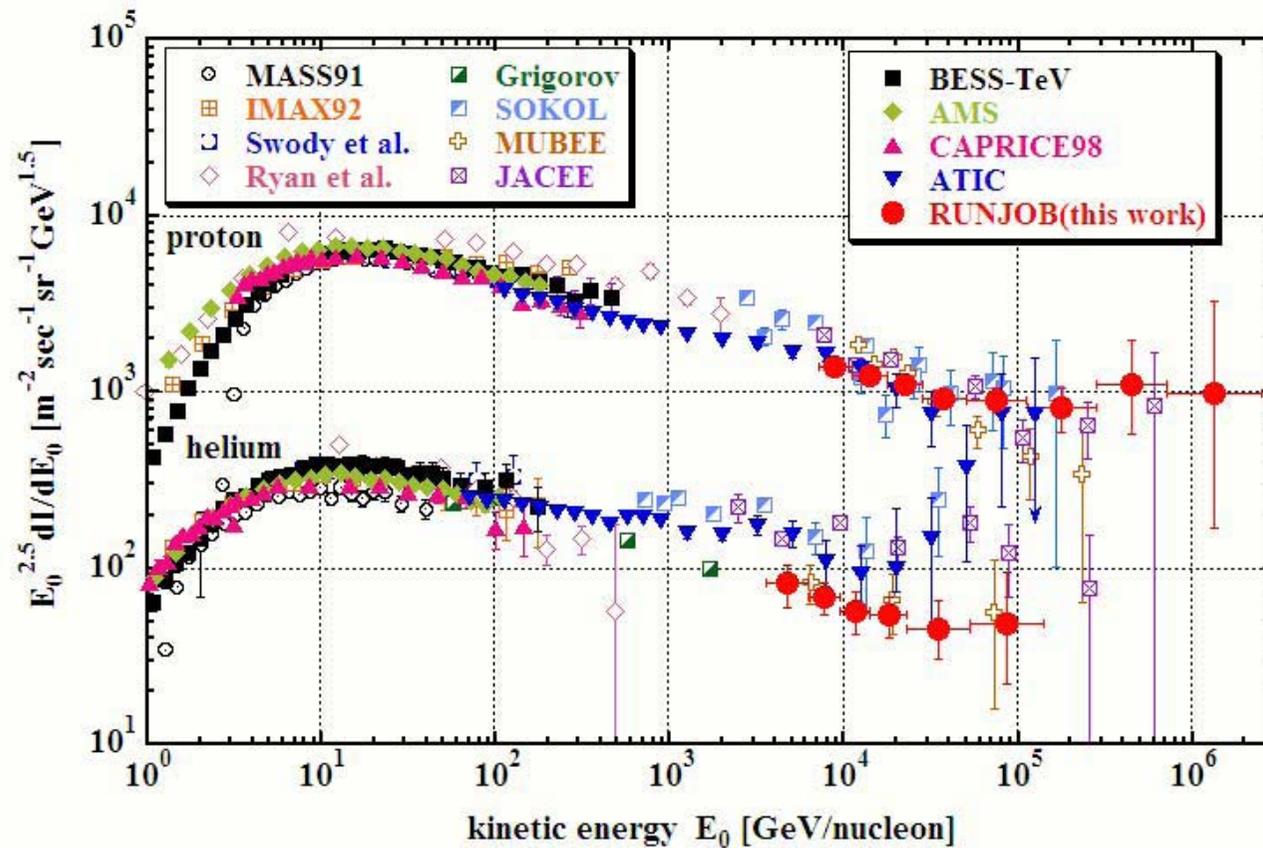
experimental setup



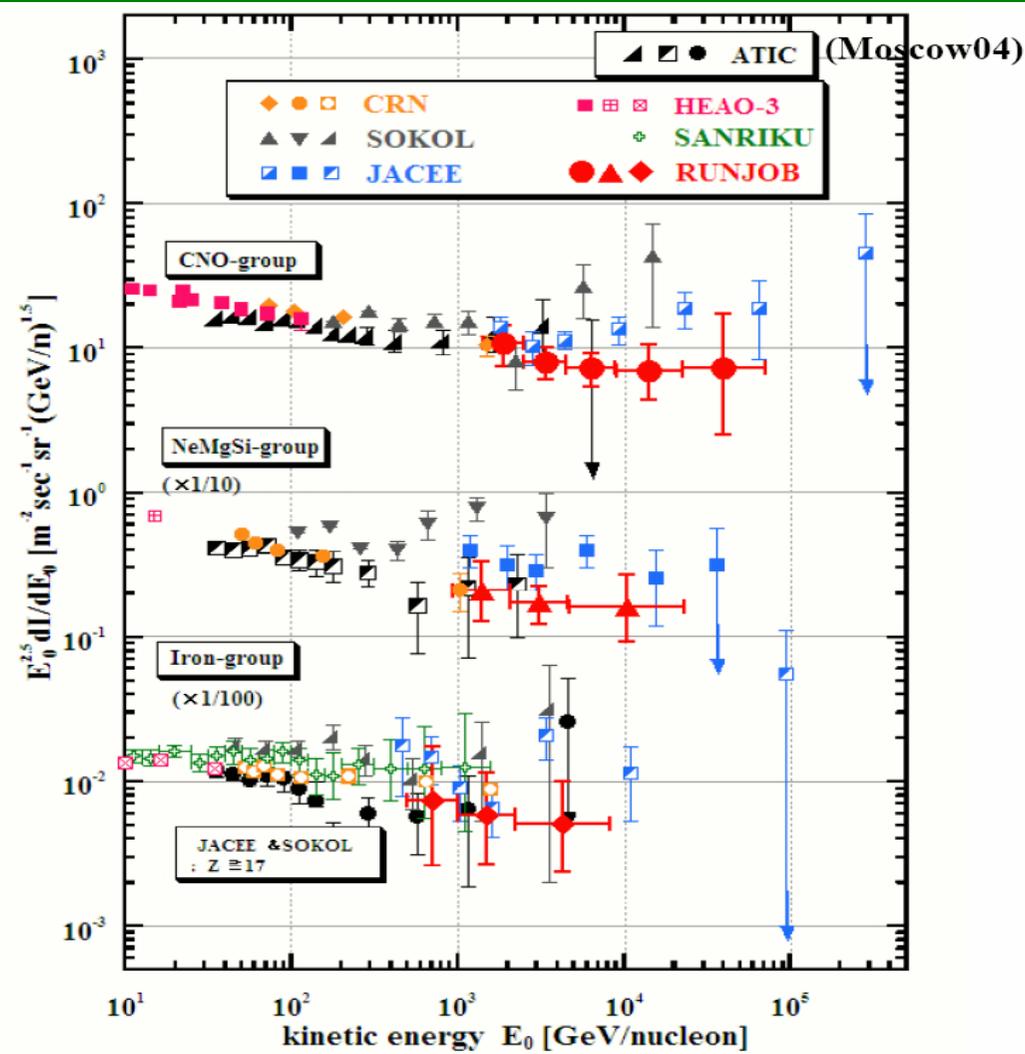
Comparando il numero di elettroni e muoni componenti lo sciame incidente, la distribuzione degli stessi e la direzione dell'asse dello sciame rivelati a terra con simulazioni Montecarlo vengono ricostruiti l'energia e la direzione della particella entrante nell'atmosfera. Sensibile ad energie di CR da $\sim 10^{14}$ a $\sim 10^{17}$ eV con KASCADE-Grande fino a 10^{18} eV



Spettro di protoni ed alfa

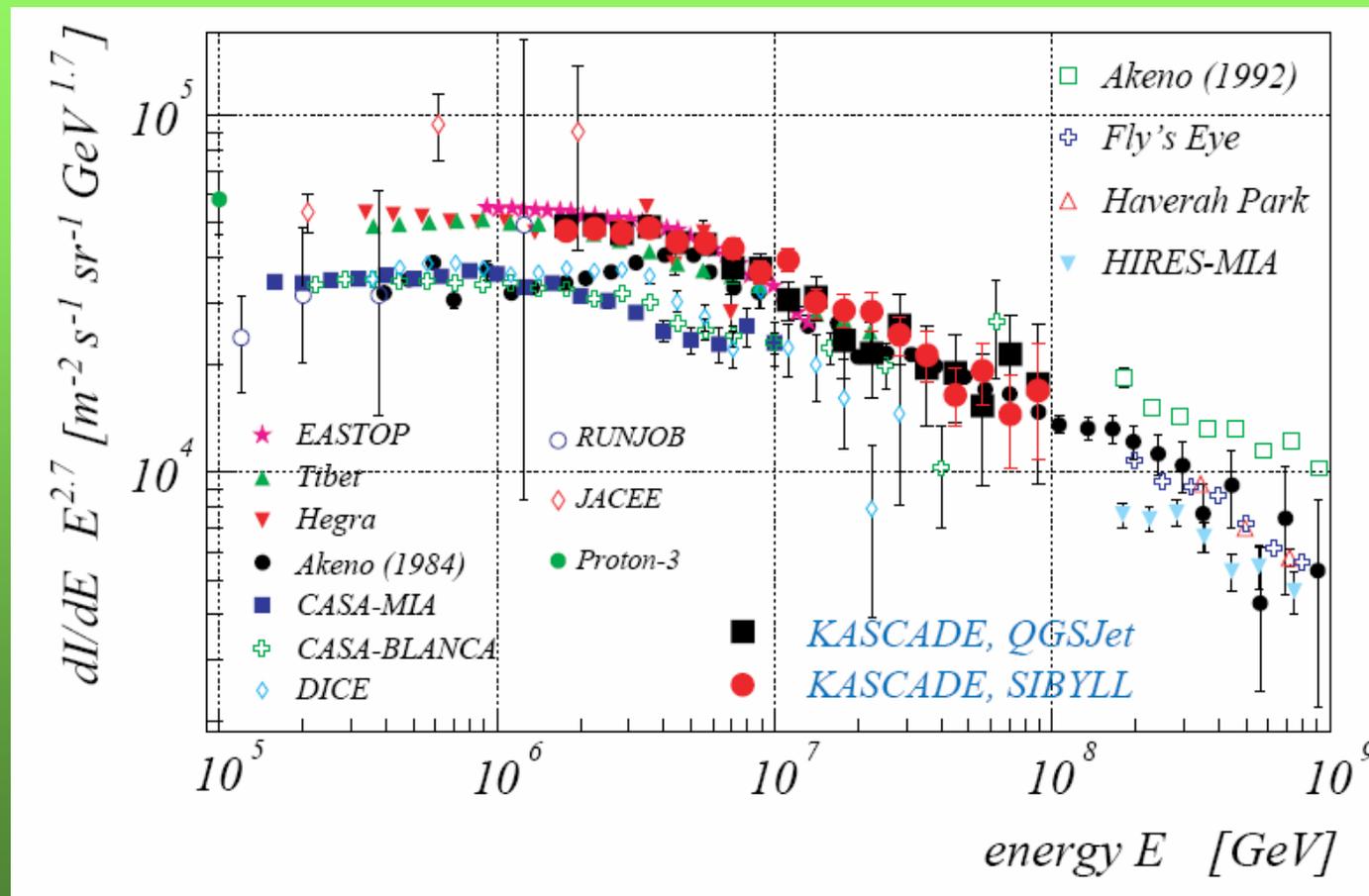


Spettri di elementi pesanti



T. Shibata,
ECRS 2004

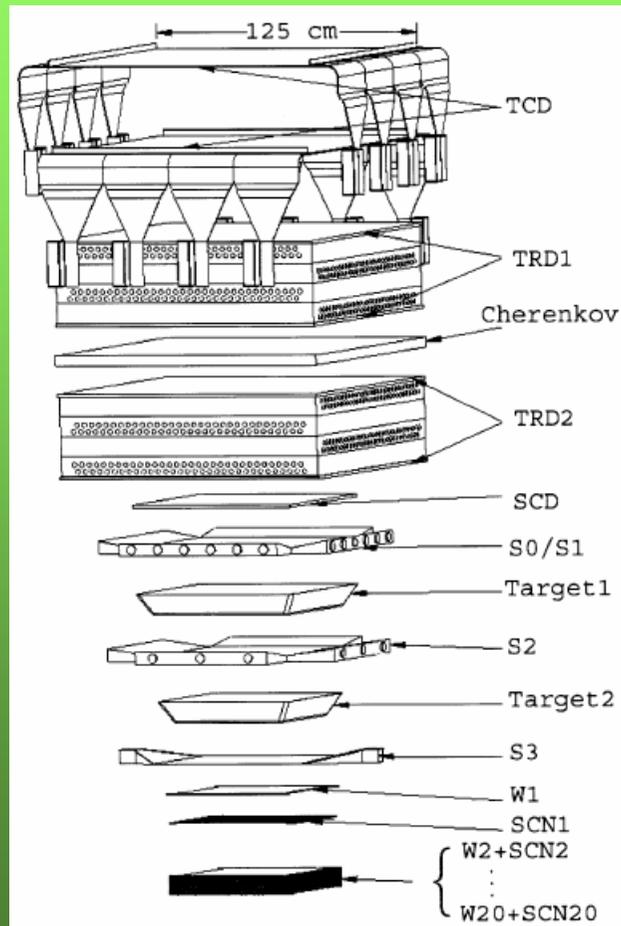
Spettro CR attorno al ginocchio



H. Ulrich, ECRS 2004

Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

Esperimenti futuri: CREAM



- Cosmic Ray Energetics And Mass (CREAM) è stato progettato per misura la composizione dei raggi cosmici (idrogeno-ferro) da $\sim 10^{12}$ eV fino a 10^{15} eV utilizzando ultra long duration balloons.
- Il primo volo, della durata di 42 giorni (record!), è stato completato con successo il 26 gennaio 2005.

Antiparticelle ed antimateria

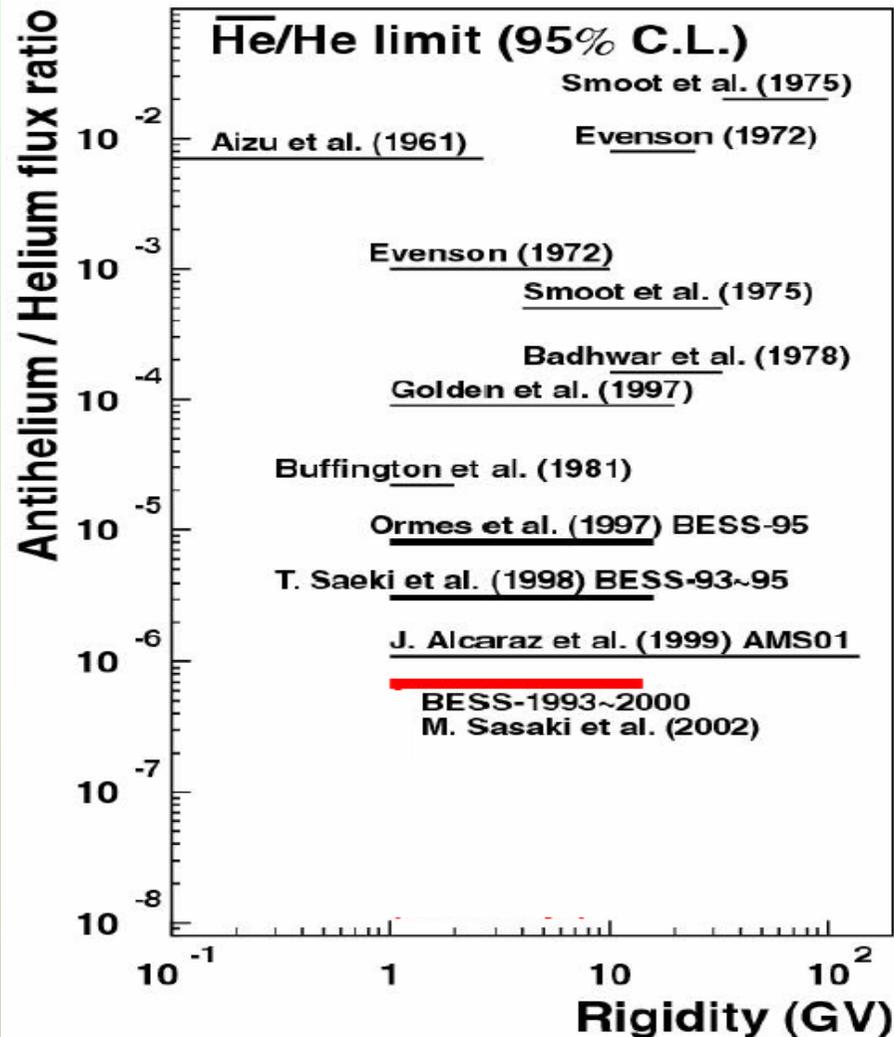
We must regard it rather as an accident that the Earth and presumably the whole solar system contains a preponderance of negative electrons and positive protons. It is quite possible that for some of the stars it is the other way about.

P. A.M. Dirac Nobel Prize lecture

Storia dell'antimateria: Teoria ed esperimenti

- 1928: Predizione del positrone (Dirac)
- 1932: Scoperta del positrone (Anderson)
- 1955: Produzione di antiprotoni in laboratorio (Chamberlain et al.)
- 1960's: BSU cosmologies (Klein, Alven,...)
- 1965: Scoperta della radiazione di fondo e Big Bang Cosmologies
- 1967: Condizioni di Sakharov (Sakharov)
- 1970's: Misure di raggi gamma
- 1979: Scoperta degli antiprotoni nei raggi cosmici (Golden et al., Bogomolov et al.)
- 1996: Antiidrogeno prodotto in laboratorio (Baur et al.)

Ricerca di antimateria nei raggi cosmici



A differenza degli antiprotoni, la componente secondaria degli antielio risultante da interazioni dei raggi cosmici col mezzo interstellare è quasi trascurabile, dell'ordine di 10^{-13} rispetto ai nuclei di elio.

Esperimenti futuri spingeranno ulteriormente in basso questo rapporto.
BESS polare avrà una sensibilità di circa 10^{-7}
PAMELA di qualche alla 10^{-8}
estendendo la regione di energia
AMS raggiungerà i 10^{-9}

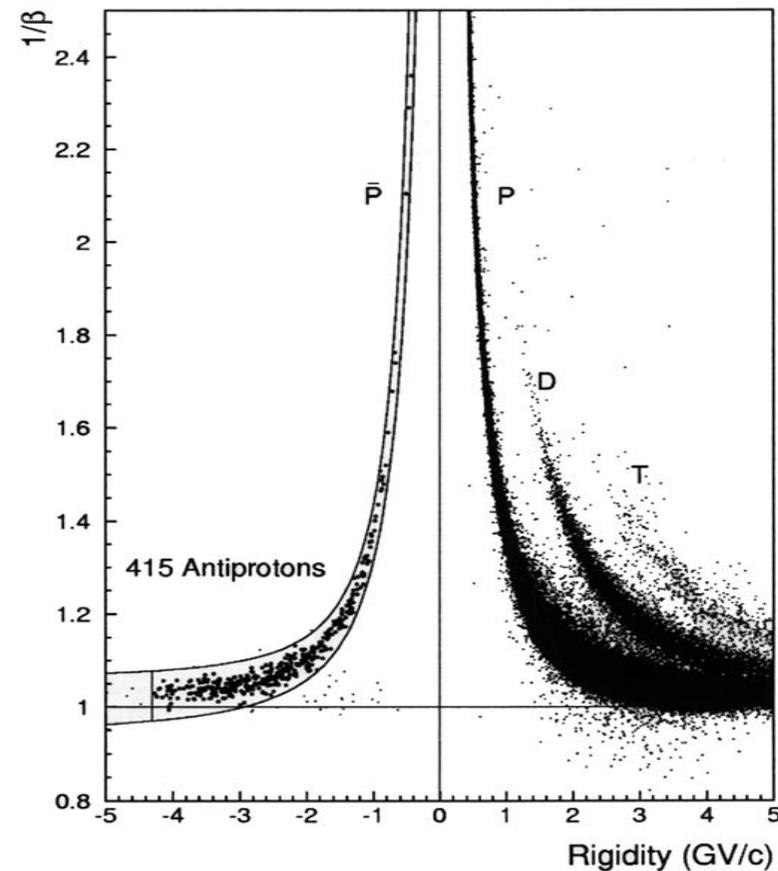
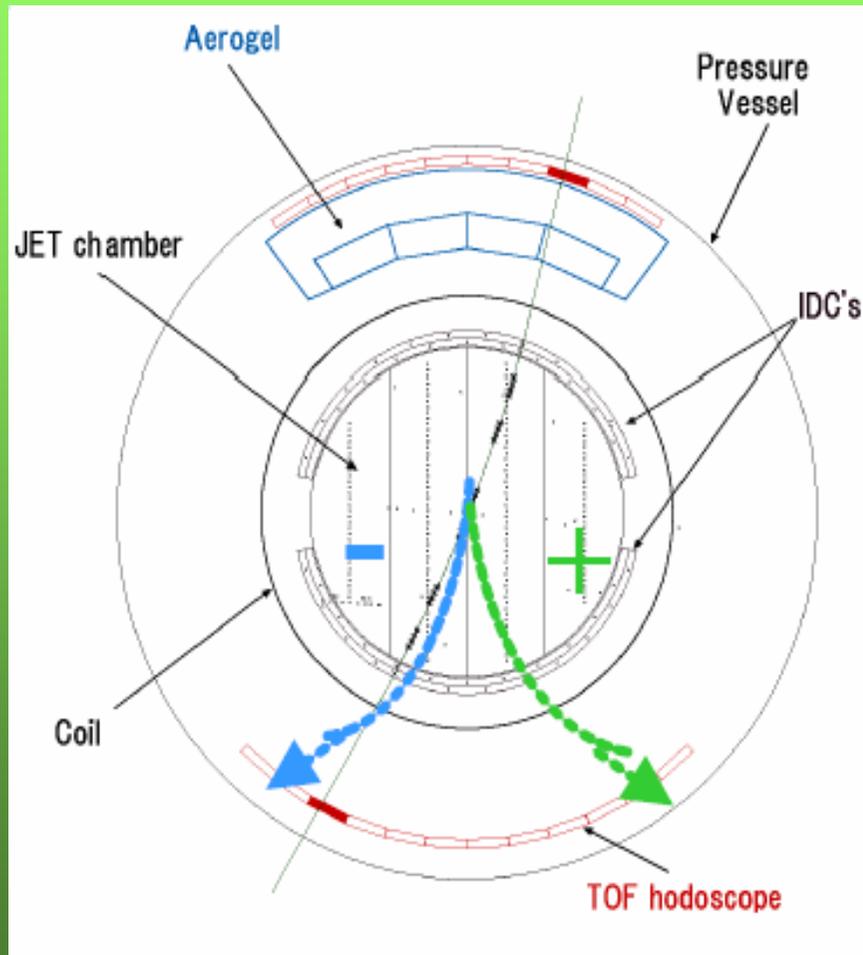
Antiparticelle nei raggi cosmici



• La prima misura di positroni nei raggi cosmici fu fatta nel 1964 da J.A. De shong, R.H. Hildebrand & P. Meyer (Phys. Rev. Let. **12**, 3, 1964)

• Antiprotoni vennero identificati per la prima volta nei raggi cosmici nel 1979 da R.L. Golden et al. Phys. Rev. Let. **43**, 1264, 1964)

Un apparato sperimentale: BESS 97/98/00

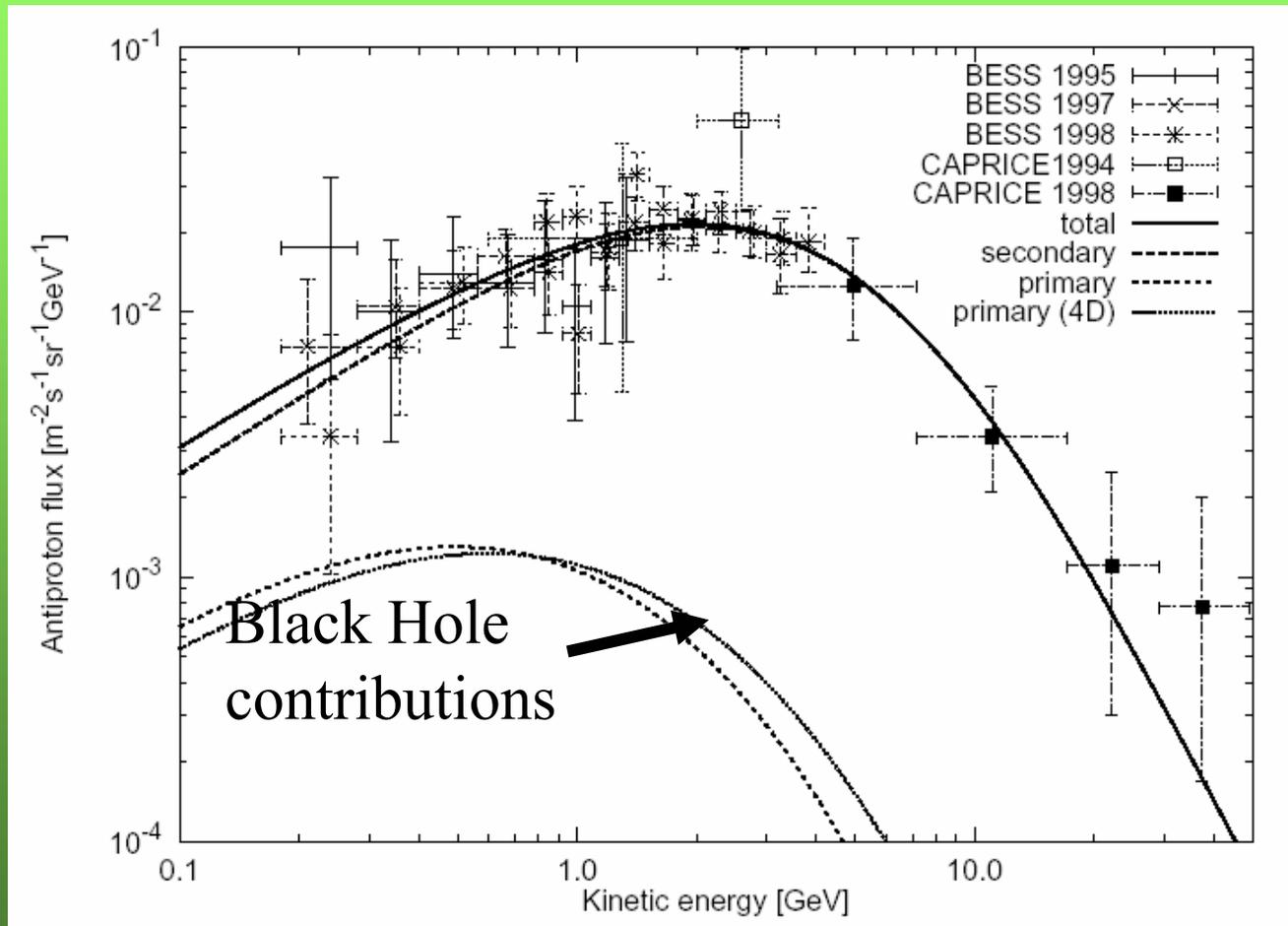


S. Orito et al., PRL 84, 1078 (2000)

Sorgenti Esotiche

- Mini Buchi Neri
- Materia Oscura

Antiprotoni secondari + primari da BH

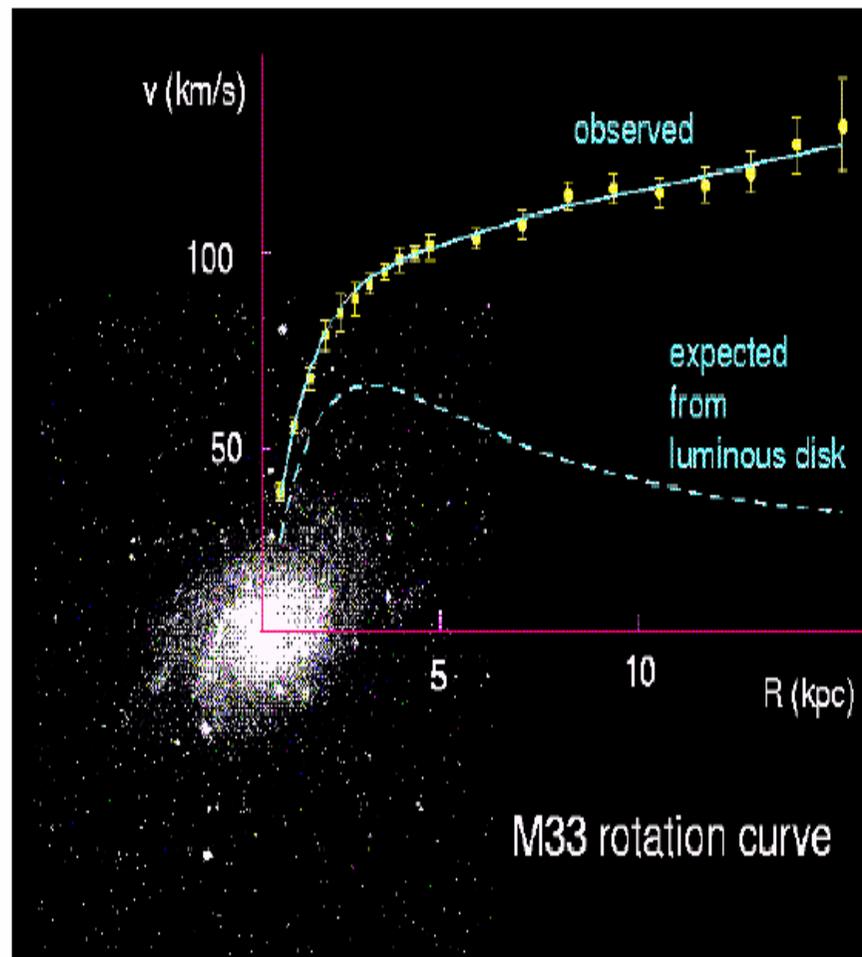


Y. Sendouda et al. astro-ph/0408369

Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

Materia Oscura

(M33 Spiral Galaxy)[L. Bergström – hep-ph/0002126]



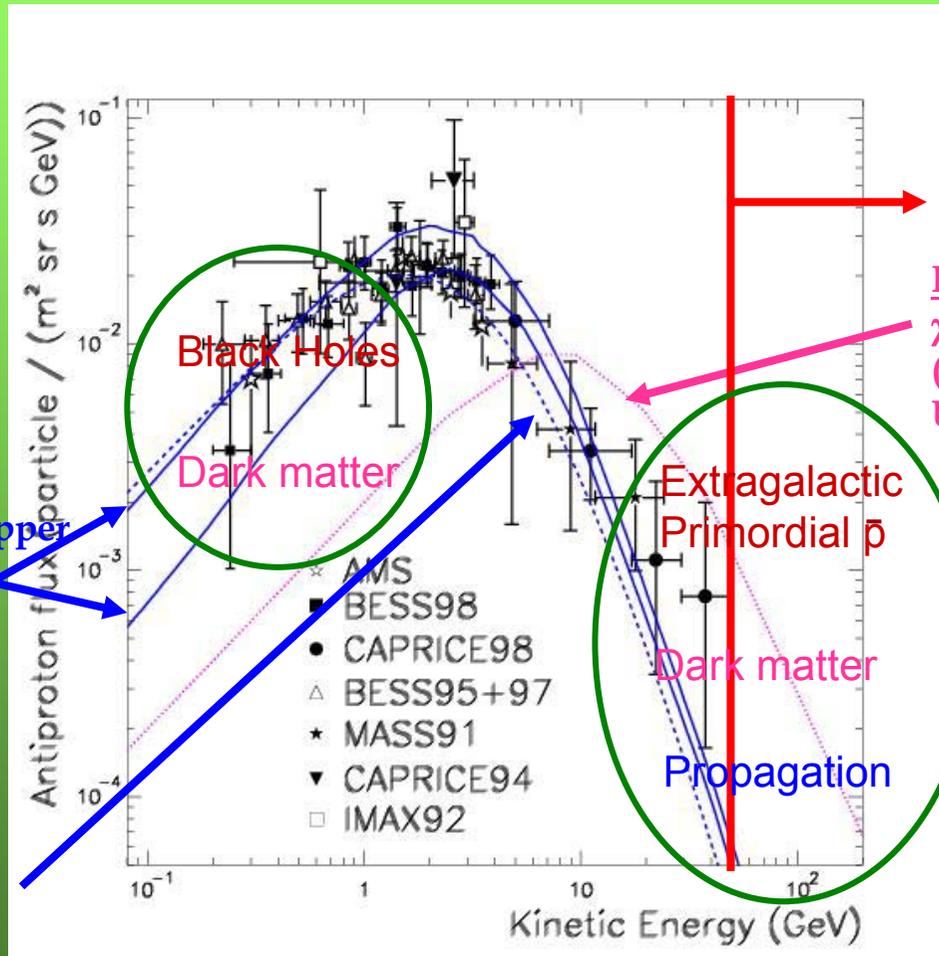
- Si interpreta la variazione del redshift nella galassia come una distribuzione di velocità.
- Teoria Newtoniana prevede che la velocità diminuisca attraverso il disco galattico proporzionalmente alla diminuzione della densità.
- INVECE le curve di rotazione non sono consistenti con questa predizione indicando, piuttosto che le galassie sono immerse in un alone di "materia oscura" che non irradia né assorbe radiazione.
- Da considerazioni di Big Bang nucleosintesi e misure di CMB la materia oscura rappresenta ~90% della materia nell'Universo.

Candidati per la Materia Oscura

Tra i molti candidati proposti per formare la Materia Oscura particolarmente rilevanti per lo studio dei raggi cosmici sono le Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs), particolarmente:

- Particelle non da Standard Model come LSP, tipicamente neutralini supersimmetrici, χ_0 . χ è la propria antiparticella e dall'annichilazione attraverso vari canali (produzione di quark pesanti, W , ecc.) vengono prodotti e^+ ed p .
- Particelle da modelli Universal Extra Dimension: Lightest KK particle (LKP). LKP è un bosone e, quindi, l'annichilazione in fermioni non è soppressa e può decadere direttamente a, per esempio, e^+e^- .

Misure di antiparticelle nei raggi cosmici: antiprotoni



Regione Inesplorata

Primary production from $\chi\chi$ annihilation
 ($m(\chi) = 964 \text{ GeV}$,
 Ullio 2002)

Black Holes

Dark matter

Extragalactic
 Primordial \bar{p}

Dark matter

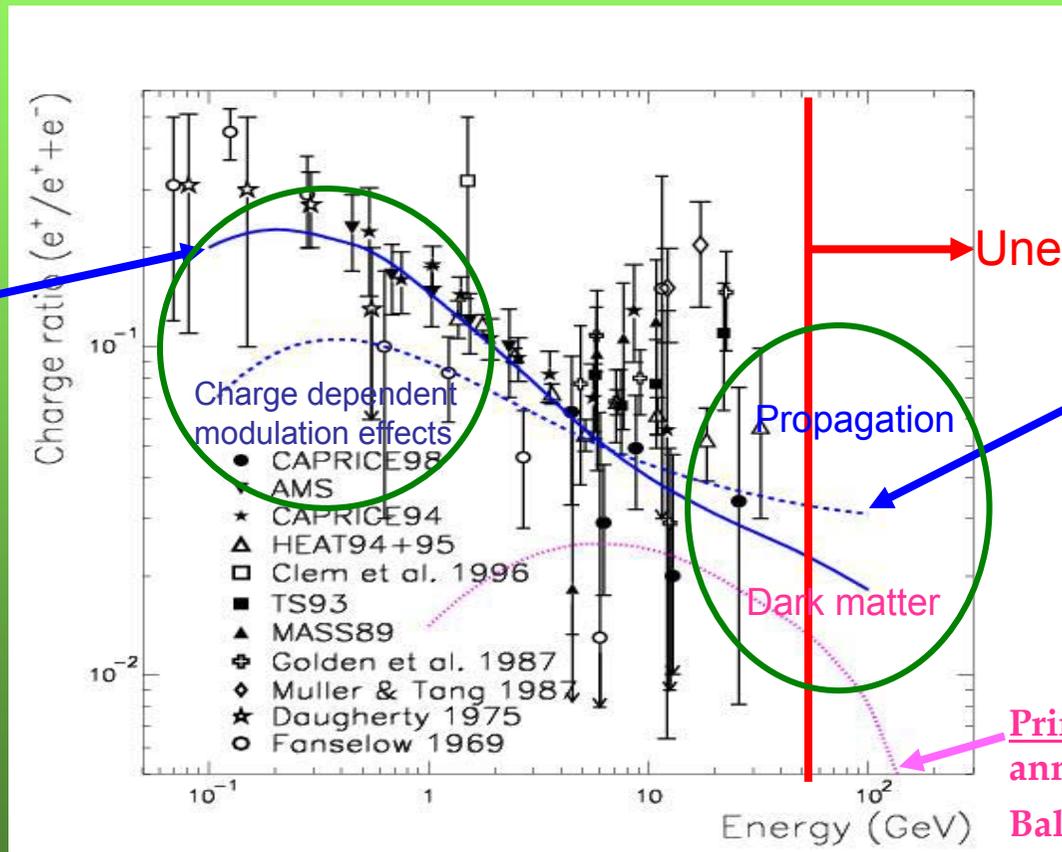
Propagation

Secondary production (upper
 and lower limits)
 Simon et al.

Secondary production
 (CAPRICE94-based)
 Bergström et al.

Misure di antiparticelle nei raggi cosmici: positroni

Secondary production
'Moskalenko + Strong
model' (1998) without
reacceleration

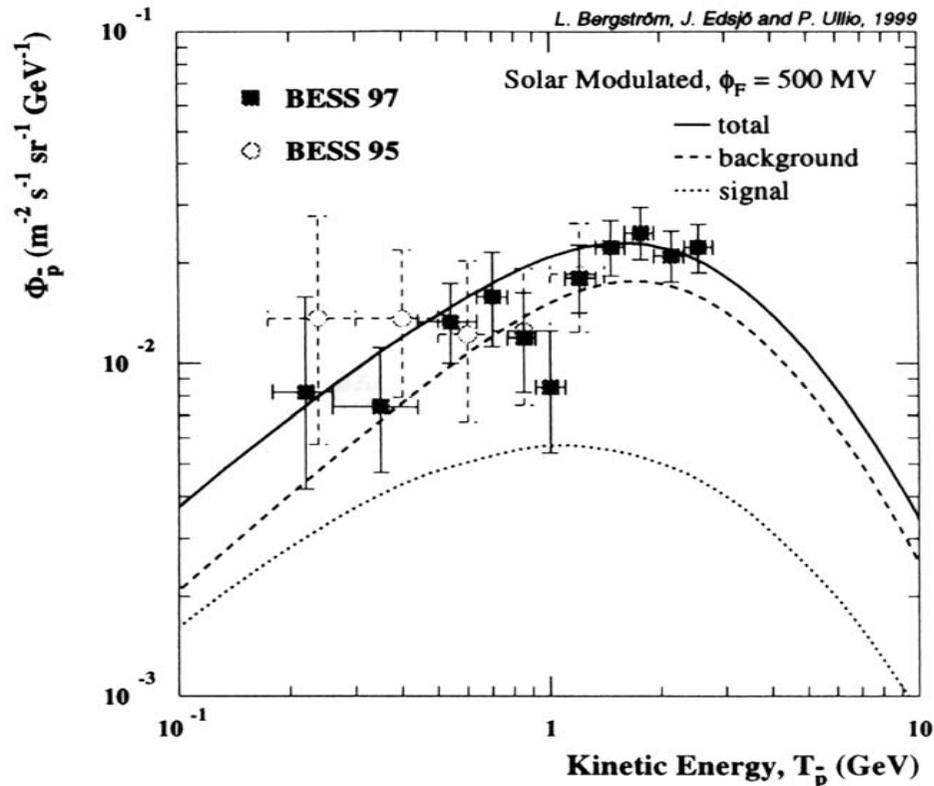


Unexplored Region

Secondary production
'Leaky box model'
(Protheroe 1982)

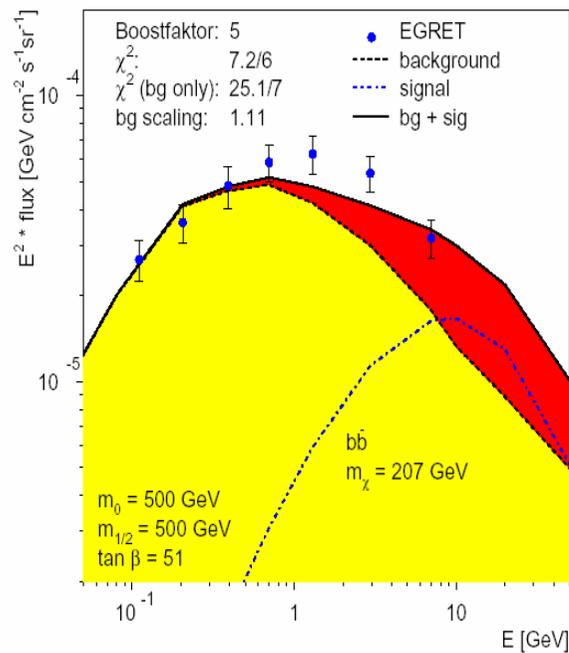
Primary production from $\chi\chi$
annihilation ($m(\chi) = 336$ GeV,
Baltz & Edsjö 1999)

Antiprotoni Primari

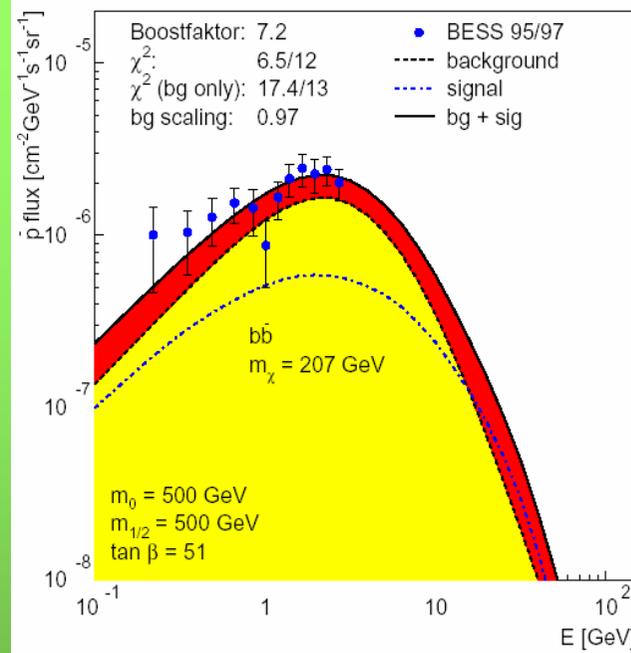


Un segnale di antiprotoni primari non serve per spiegare i dati ma non viene nemmeno escluso da questi

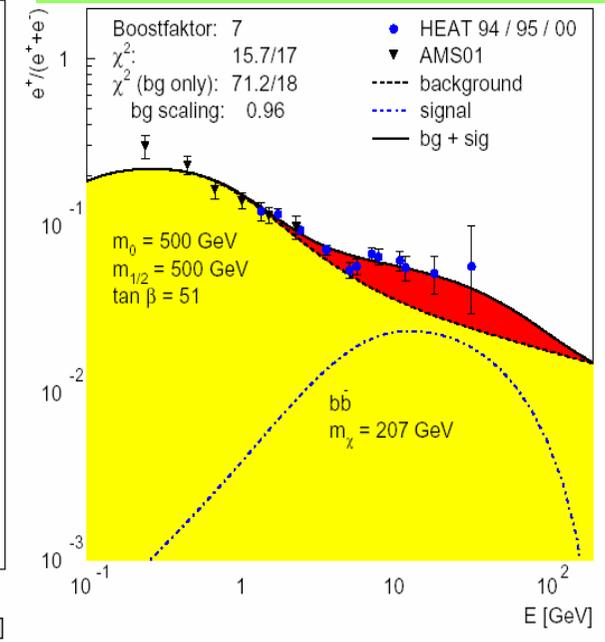
γ , centro galattico



Flusso \bar{p} , BESS



Flusso e^+ , AMS, HEAT

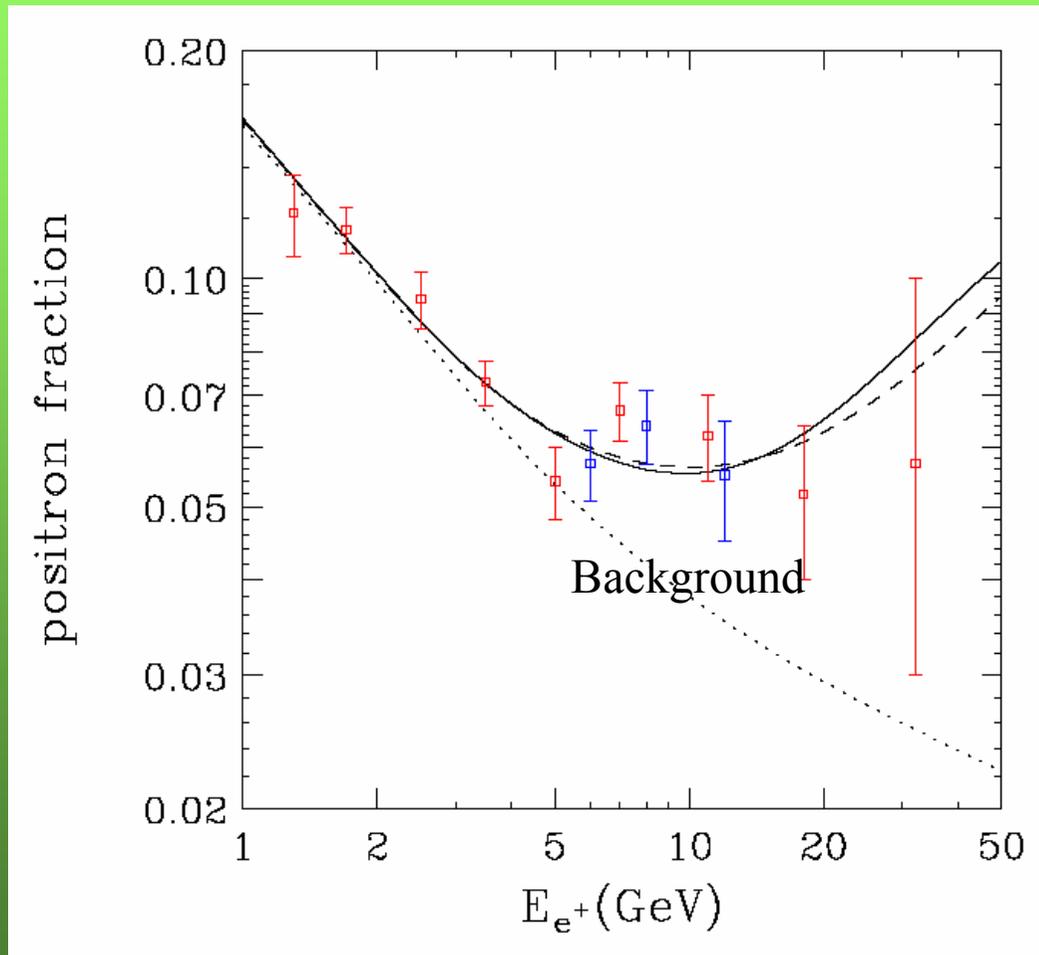


Fit globale di alcuni dati sperimentali sul flusso di raggi gamma dal centro galattico, sul flusso di antiprotoni e positroni. Stesso modello di Materia Oscura e stesso modello di propagazione.

W. De Boer et al., Eur. Phys. J. C33(2004)S981.

Massa Neutralino 207 GeV.

Frazione di positroni da LKP dopo propagazione nella Galassia



Dati sperimentali
dall'esperimento
HEAT

Sono indicate le
frazione di
positroni calcolati
per due valori di
massa del LKP:
300 e 600 GeV.

D. Hooper and G.D. Kribs hep-ph/0406026

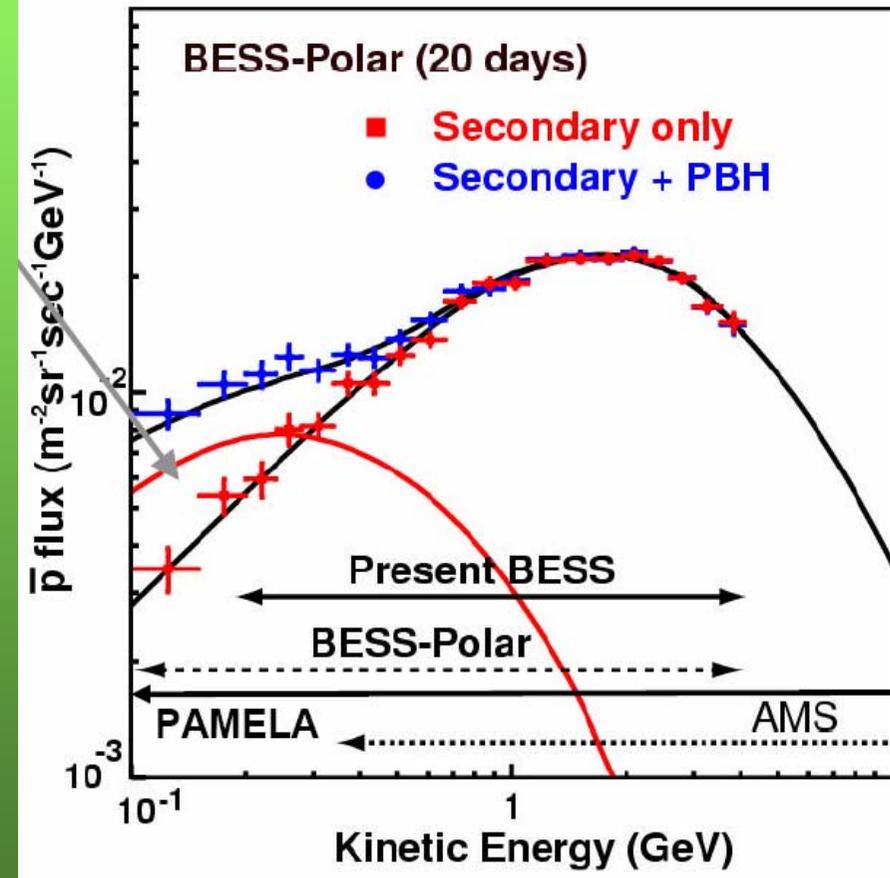
Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

Futuri esperimenti: BESS-Polar

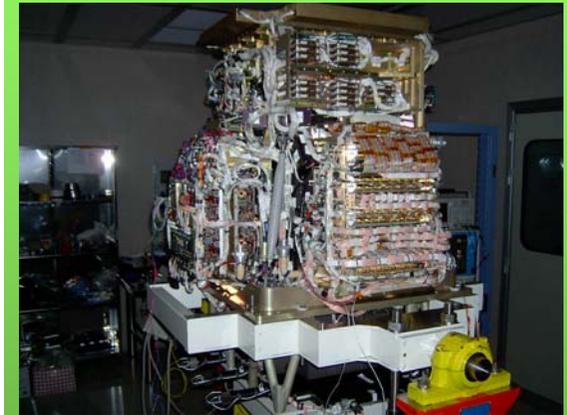
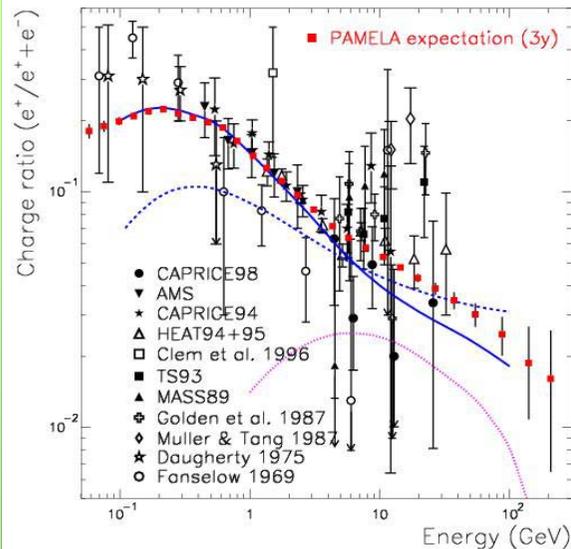
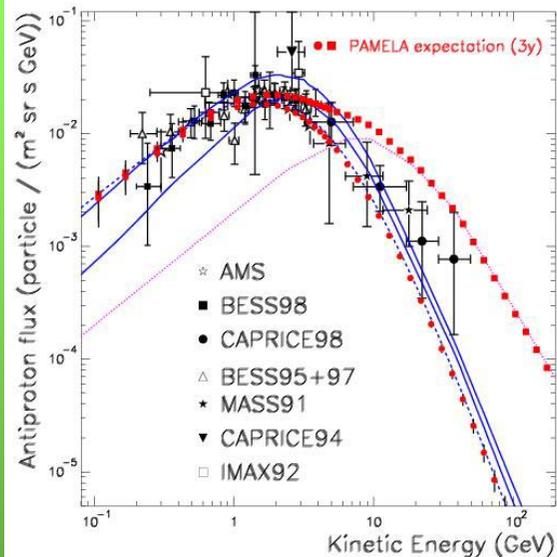


BESS-Polar è stato lanciato su pallone aereostatico il 13/12/04. Il volo è terminato dopo 8 giorni e 12 ore in quota.

BESS-Polar (20-day solar-min flight shown)

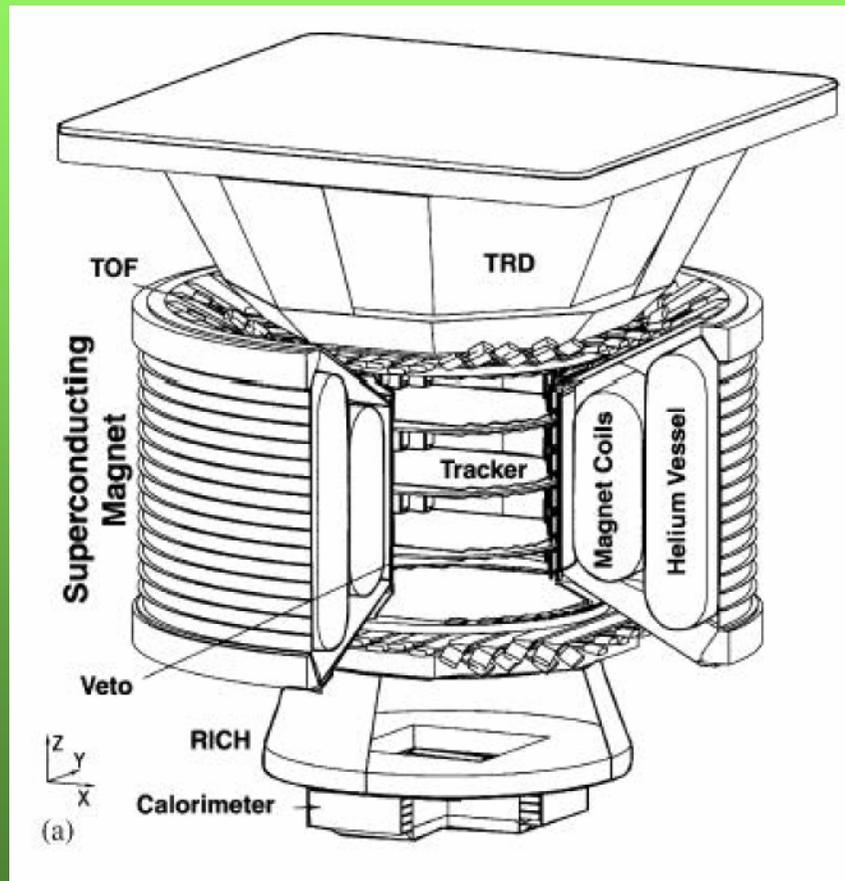


Futuri esperimenti: PAMELA

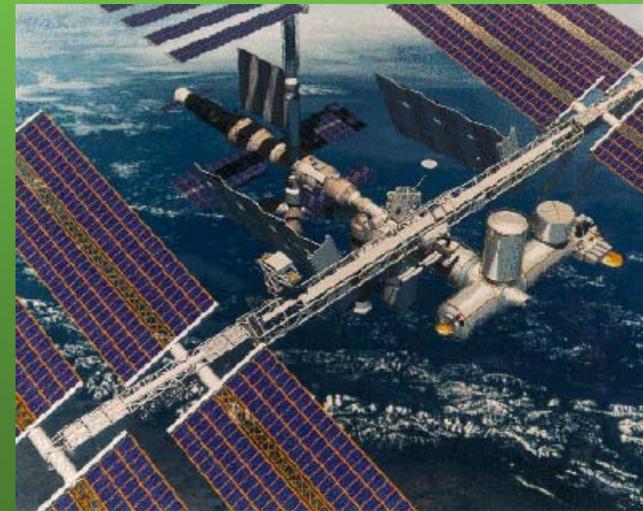


L'apparato è stato completamente assemblato e testato presso la sezione INFN di Roma2. Il 29 marzo è stato trasferito in Russia per l'assemblaggio col satellite Resurs DK1 e, quindi, tra luglio e settembre verrà portato a Bajkonur per essere messo in orbita. Lancio previsto entro la fine del 2005.

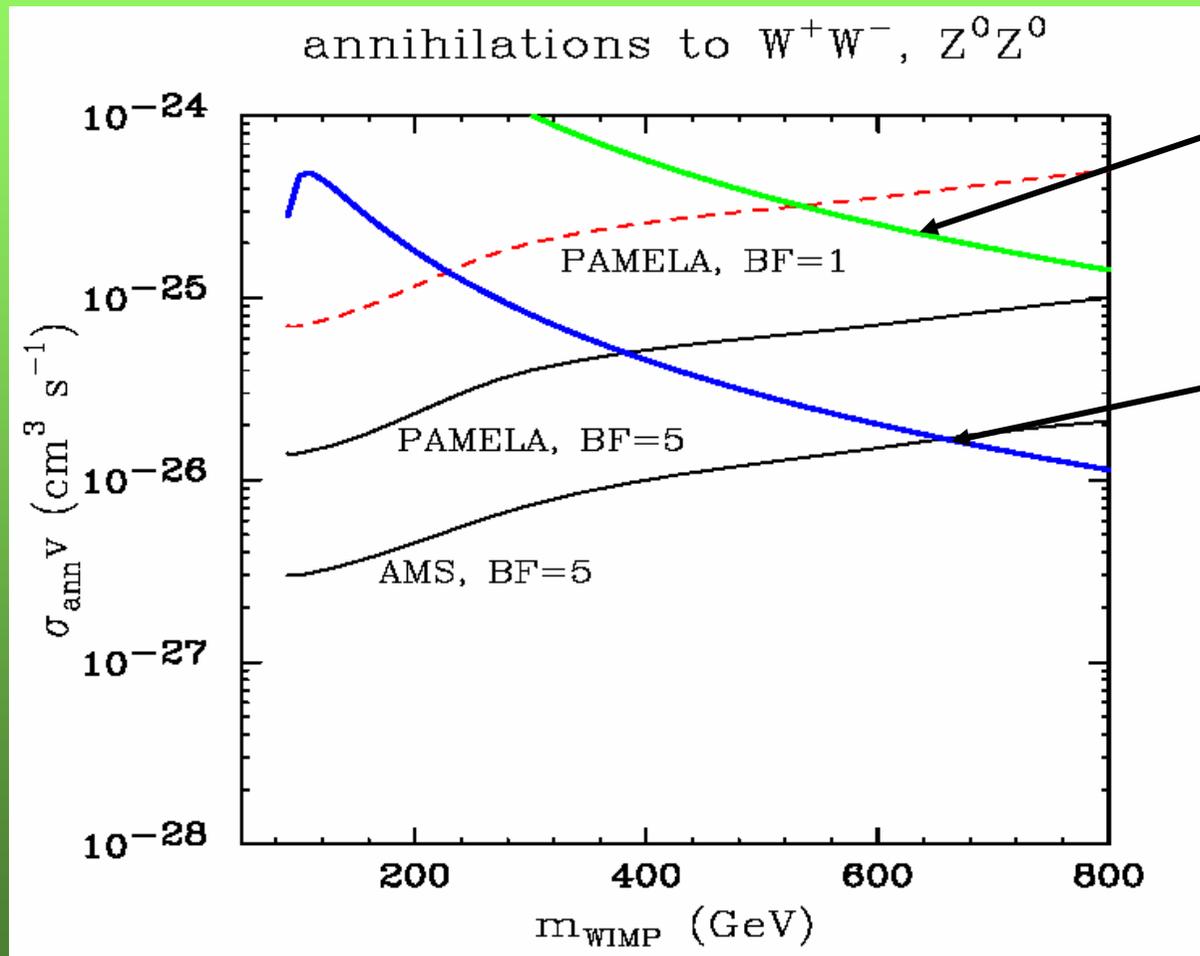
Futuri esperimenti: AMS-02



Attualmente la messa in orbita sulla stazione spaziale ISS è programmata per inizio 2008.



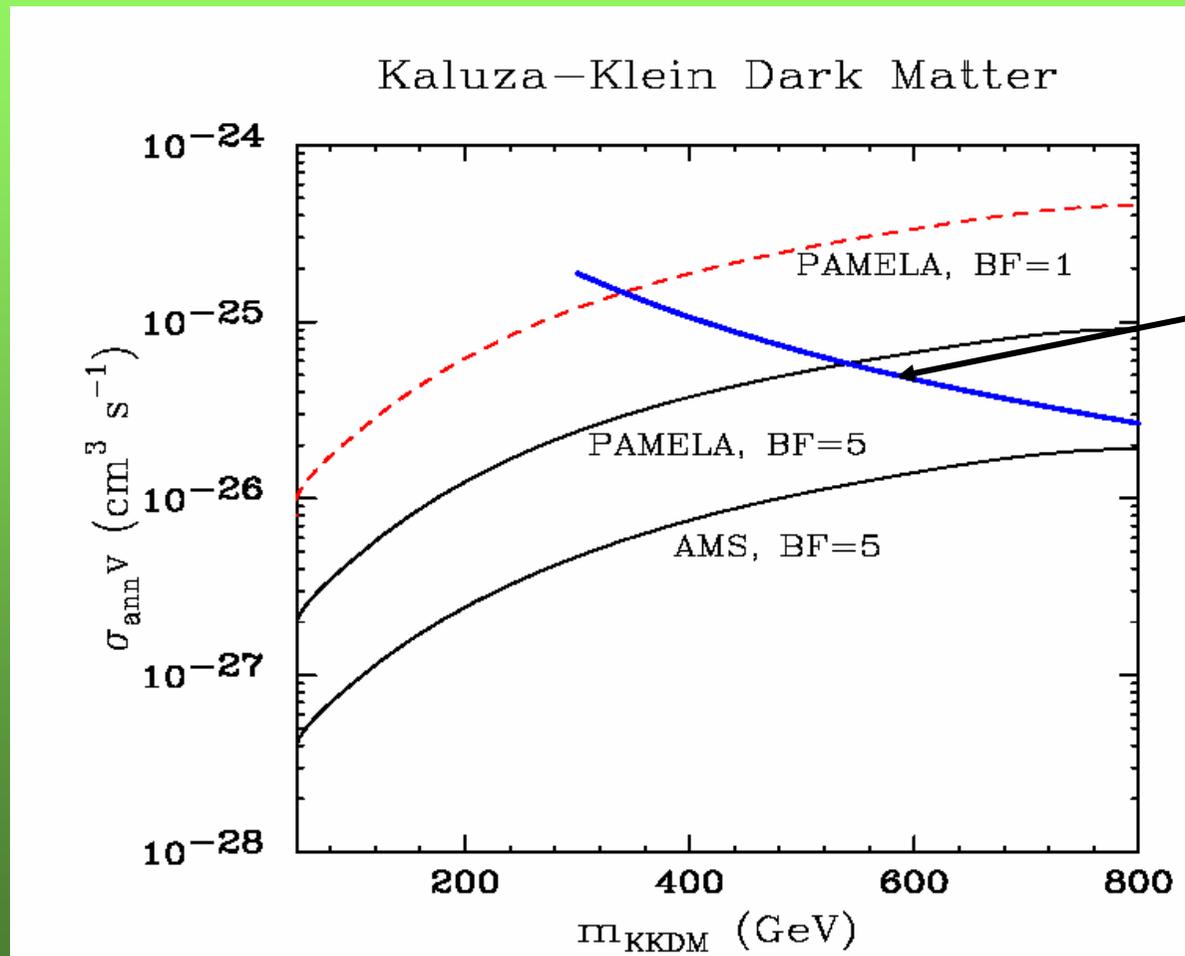
Aspettative da futuri esperimenti: Neutralino



Wino

Higgsino

Aspettative da futuri esperimenti: Kaluza-Klein Dark Matter



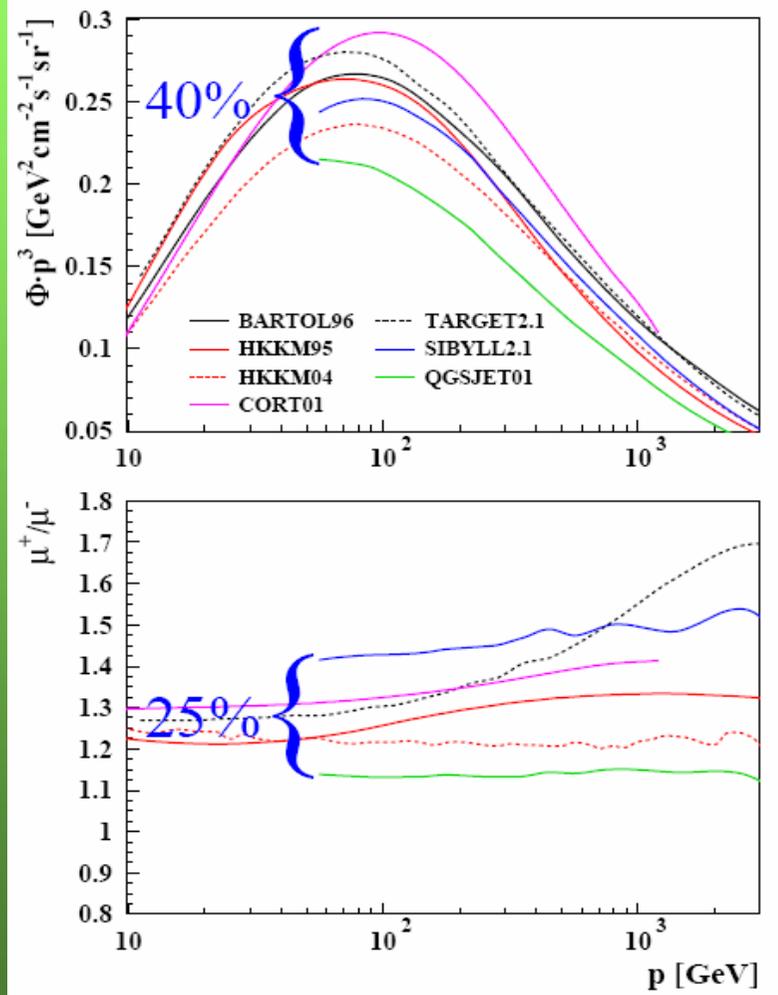
Sezione d'urto di
annichilazione per
KK Dark Matter

Hooper and Silk hep-ph/0409104

Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

MISURE DI MUONI (ED ALTRO) IN ATMOSFERA

Flussi di muoni in atmosfera



- La misura e lo studio del flusso di muoni in atmosfera può essere usata per migliorare i calcoli dei flussi di neutrini atmosferici
- Inoltre permette di controllare e calibrare le simulazioni di sciami atmosferici che vengono usate anche in esperimenti ad altissime energie come Auger, AGASA e HiRes.

Parametri iniziali e flussi di neutrini

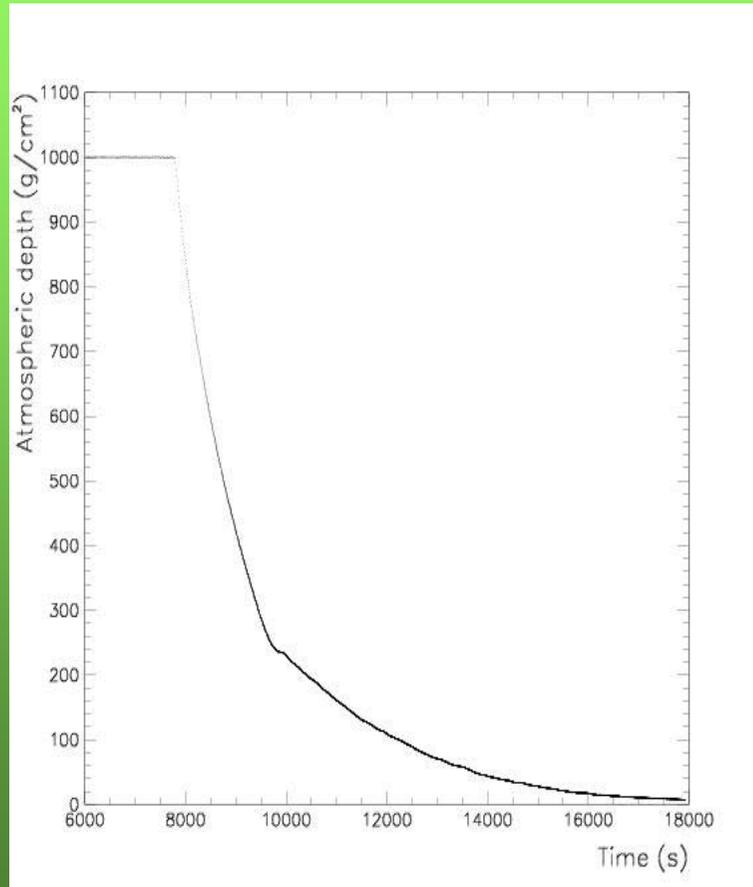
- Parametri iniziali:
 - Flussi di primari
 - Modulazione solare e effetti geomagnetici
 - Interazioni adroniche (sezioni d'urto, ecc.)
 - 1D / 3D

- Risultati:

$$\Phi_{\nu_l}(E, \cos(\theta)), \quad \Phi_{\bar{\nu}_l}(E, \cos(\theta)),$$

$$l = e, \mu$$

Misure di muoni atmosferici



• Esperimenti con palloni

- I tempi tipici di ascesa sono tra 2 e 3 ore con l'altezza dell'apparato che cambia continuamente nel tempo.
- Principali vantaggi: in un unico esperimento si riescono a campionare una parte significativa dell'atmosfera e un'ampia regione di energia; inoltre muoni possono essere misurati simultaneamente ai primari.
- Principali svantaggi: breve periodo di misura con conseguenti problemi (bassa statistica), poco o nessun controllo sul profilo di volo e conseguenti difficoltà nel confronto dei risultati con le simulazioni.

Confronto tra simulazione (3D) e dati sperimentali (CAPRICE)

G. Battistoni et al. / *Astroparticle Physics* 17 (2002) 477–488

481

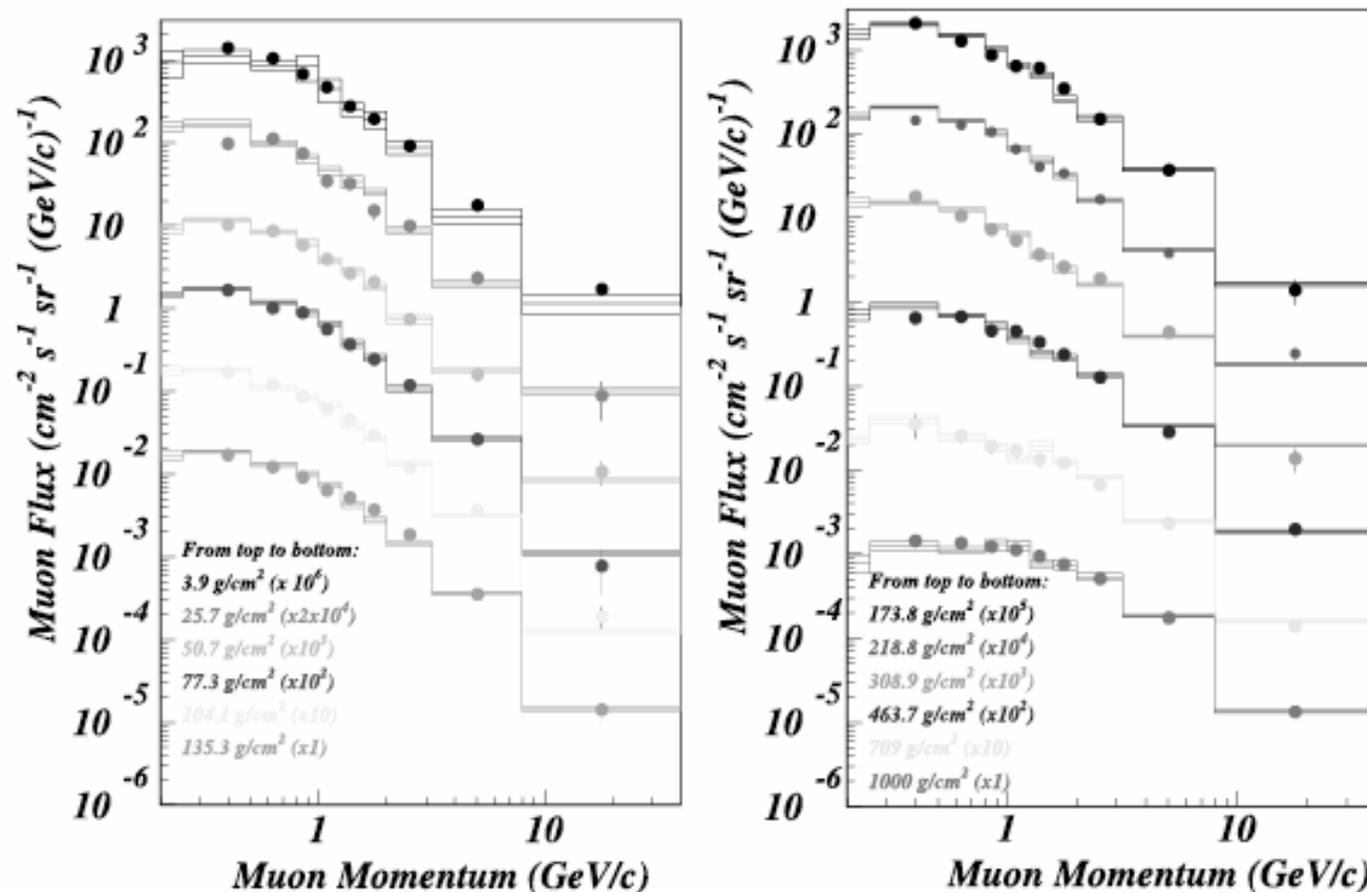
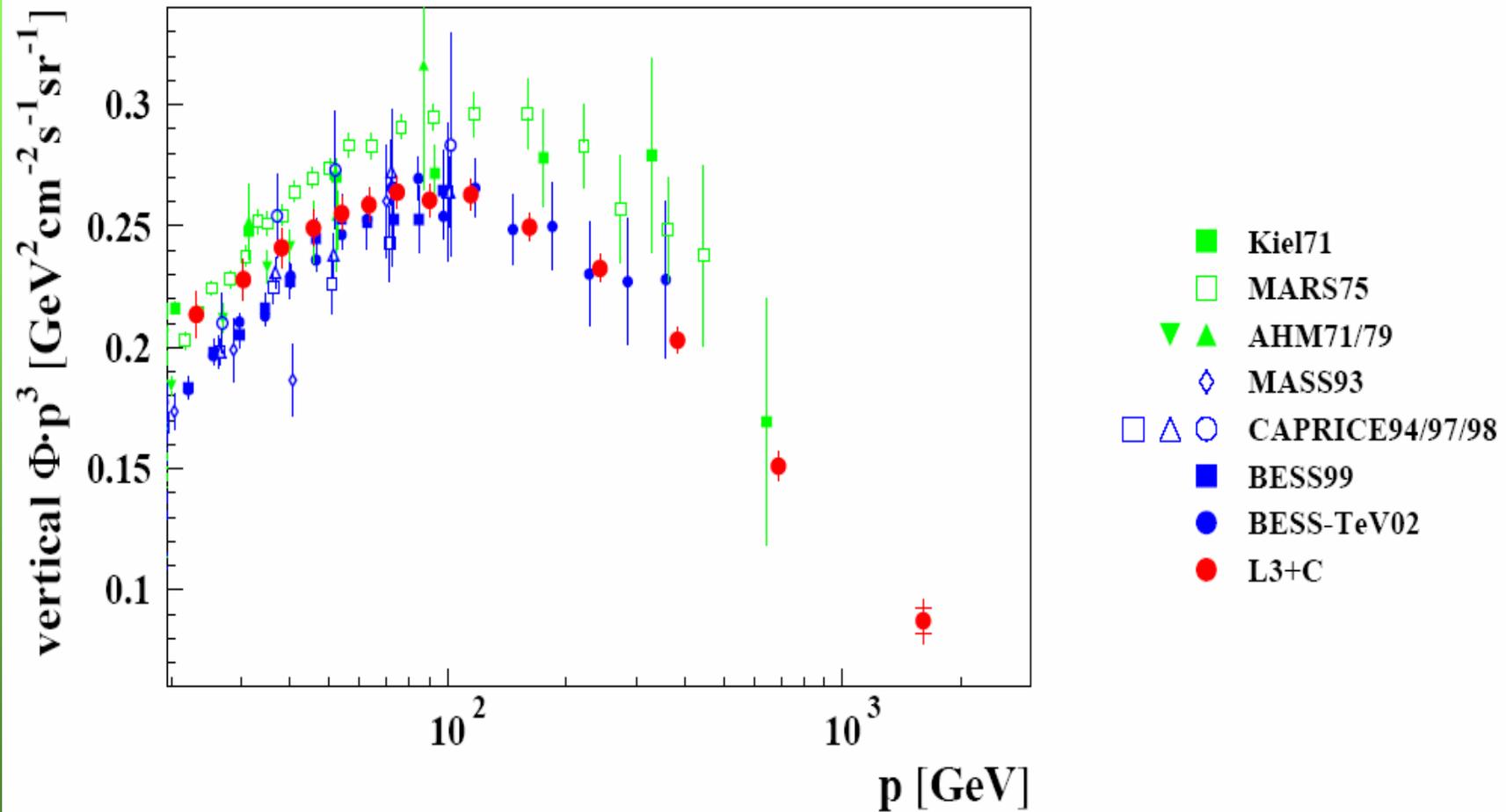


Fig. 4. Comparison between simulated (histogram) and detected (full symbols) negative muon flux as a function of momentum for different atmospheric depths. Boxes represent the statistical error in Monte Carlo results.

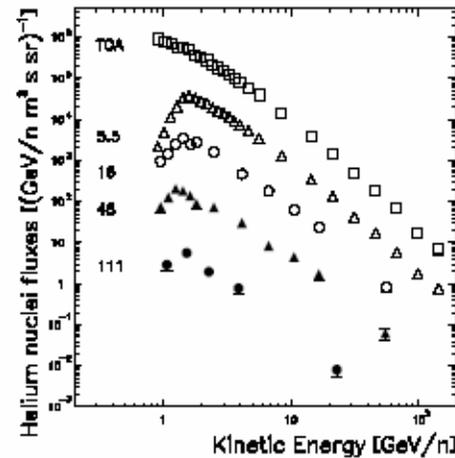
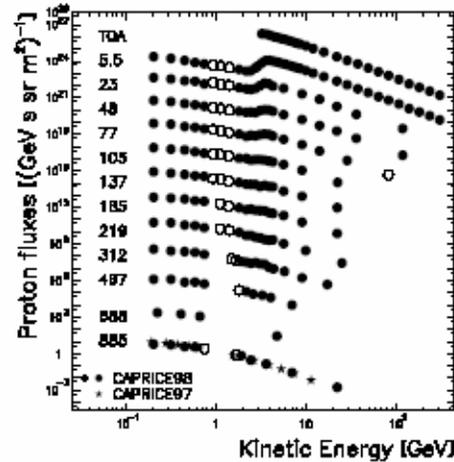
Muoni al livello del mare



M. Unger, ECRS 2003

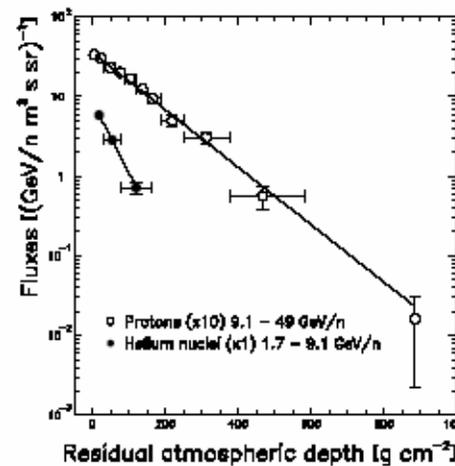
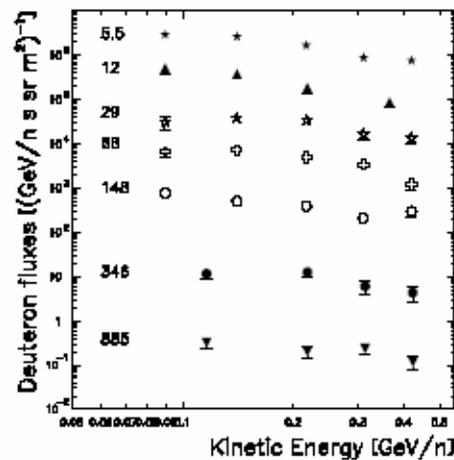
Oltre i Muoni

Protoni



Nuclei di elio

Deuterio



Protoni ed alfa

E. Mocchiutti, ICRC2003, 1627

Catania, 2005-03-31 - Mirko Boezio - INFN Trieste

Conclusioni su atmosferici

- Differenze sono state trovate confrontando dati sperimentali e simulazioni sugli spettri di muoni atmosferici
- Queste differenze hanno portato a modificare le simulazioni introducendo soprattutto flussi di primari più accurati e simulando lo sviluppo tridimensionale degli sciami
- Confronti più accurati per un ulteriore miglioramento delle simulazioni ora richiedono un aumento significativo della precisione sperimentale: esperimenti dedicati alla misura di muoni atmosferici sono necessari.