

GdL Radiazione Cosmica

*R.Aloisio, B.Bertucci, M.Busso, A.De Angelis,
P.Sapienza & F.Vissani*

Con la partecipazione attiva di molti colleghi delle CSN2,3,4...
Google group> cr_whatsnext

... qualche idea *rubata* a R.Battiston, M.Bertaina, P.Biasi, I.De Mitri, P.Lipari, O.Straniero, ...

piano della presentazione

Radiazione cosmica :

- Raggi cosmici carichi
- Fotoni (X , γ)
- Neutrini

Un campo interdisciplinare con sinergie tra:

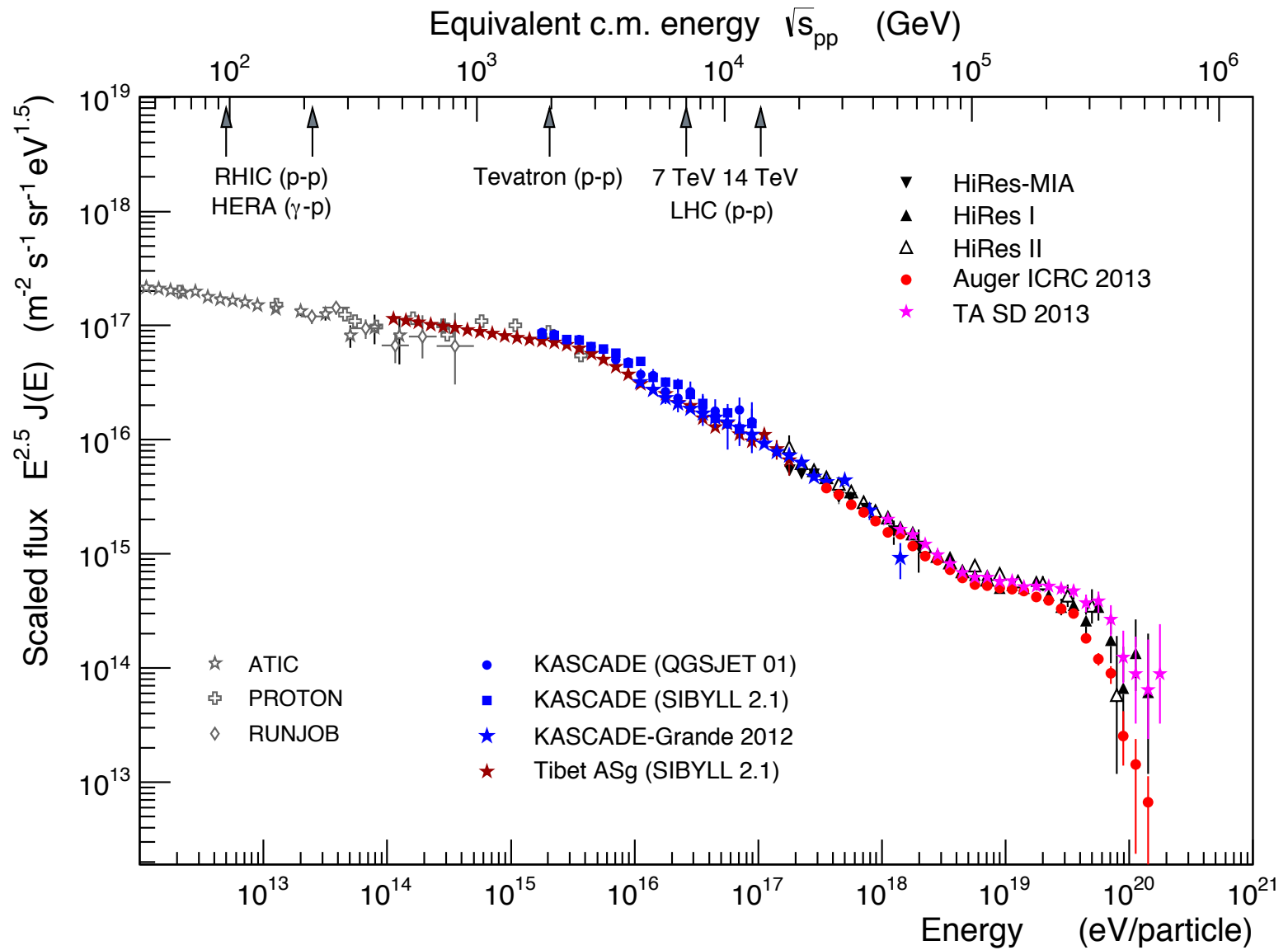
- Teoria / Esperimenti
- Astrofisica / Fisica Nucleare / Fisica delle Particelle
- GdL : Dark Matter, Neutrini, Onde Gravitazionali....

e con molti problemi aperti.

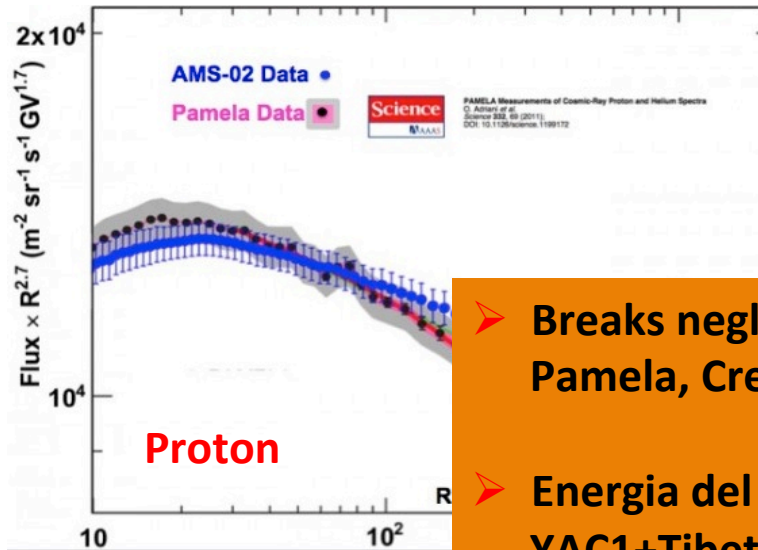
N.B.

L'approccio alla fisica deve essere necessariamente multi-messenger

raggi cosmici carichi



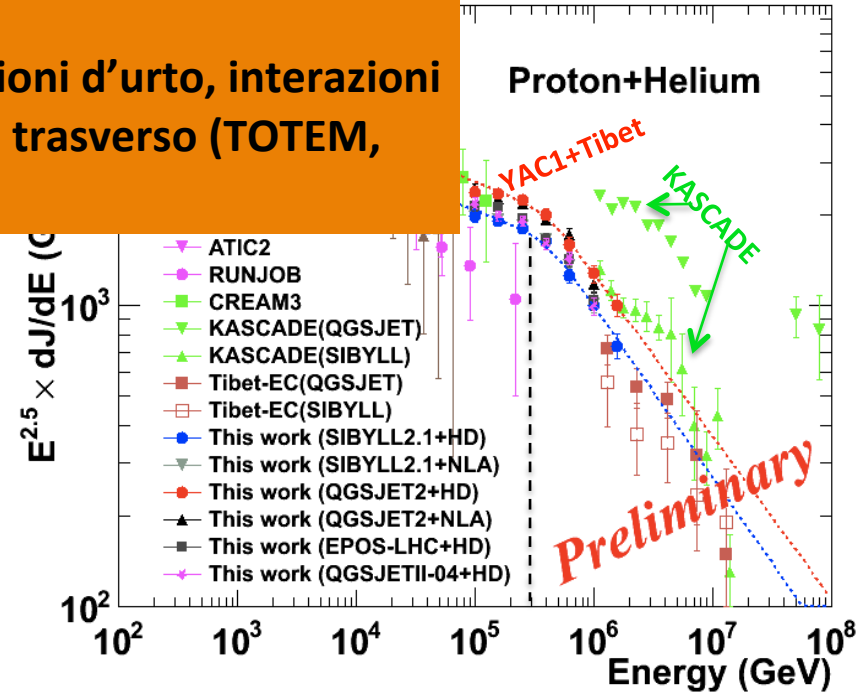
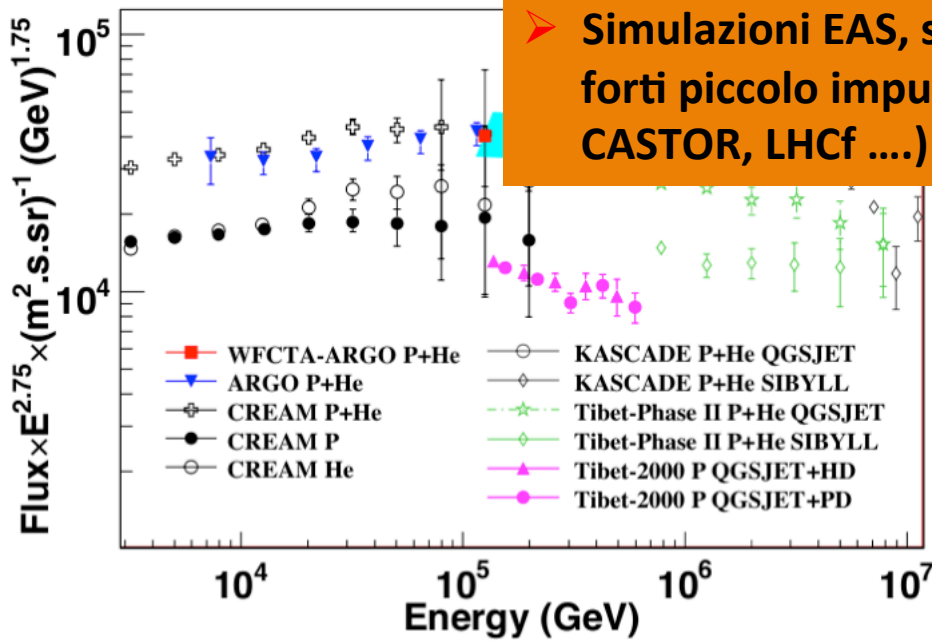
RC carichi galattici



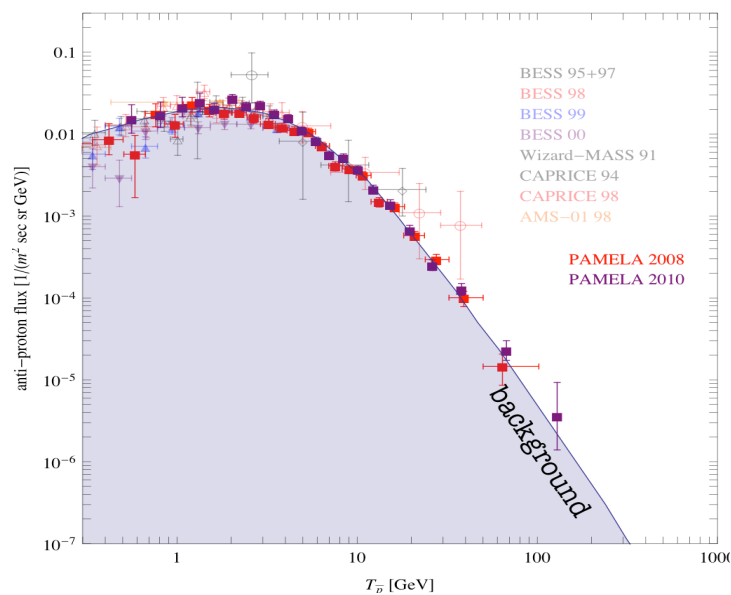
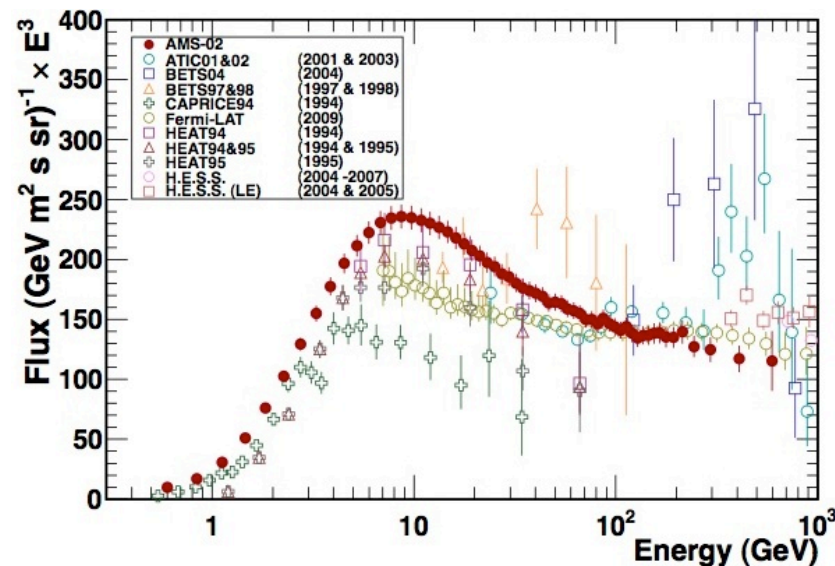
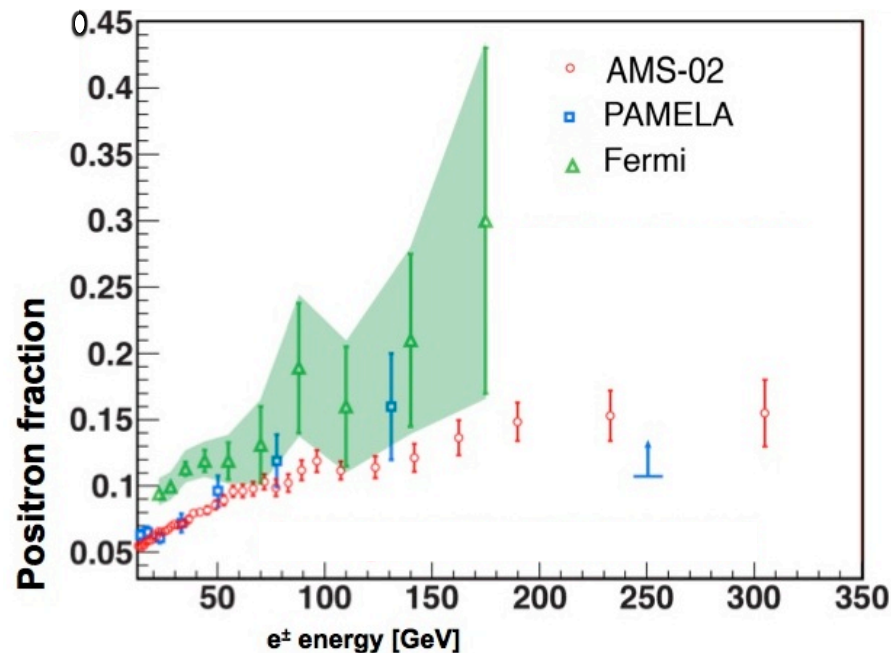
➤ Breaks negli spettri degli elementi leggeri
Pamela, Cream vs AMS

➤ Energia del knee dei protoni e degli He
YAC1+Tibet vs Argo-YBJ e Kascade

➤ Simulazioni EAS, sezioni d'urto, interazioni
forti piccolo impulso trasverso (TOTEM,
CASTOR, LHCf)



materia & anti materia



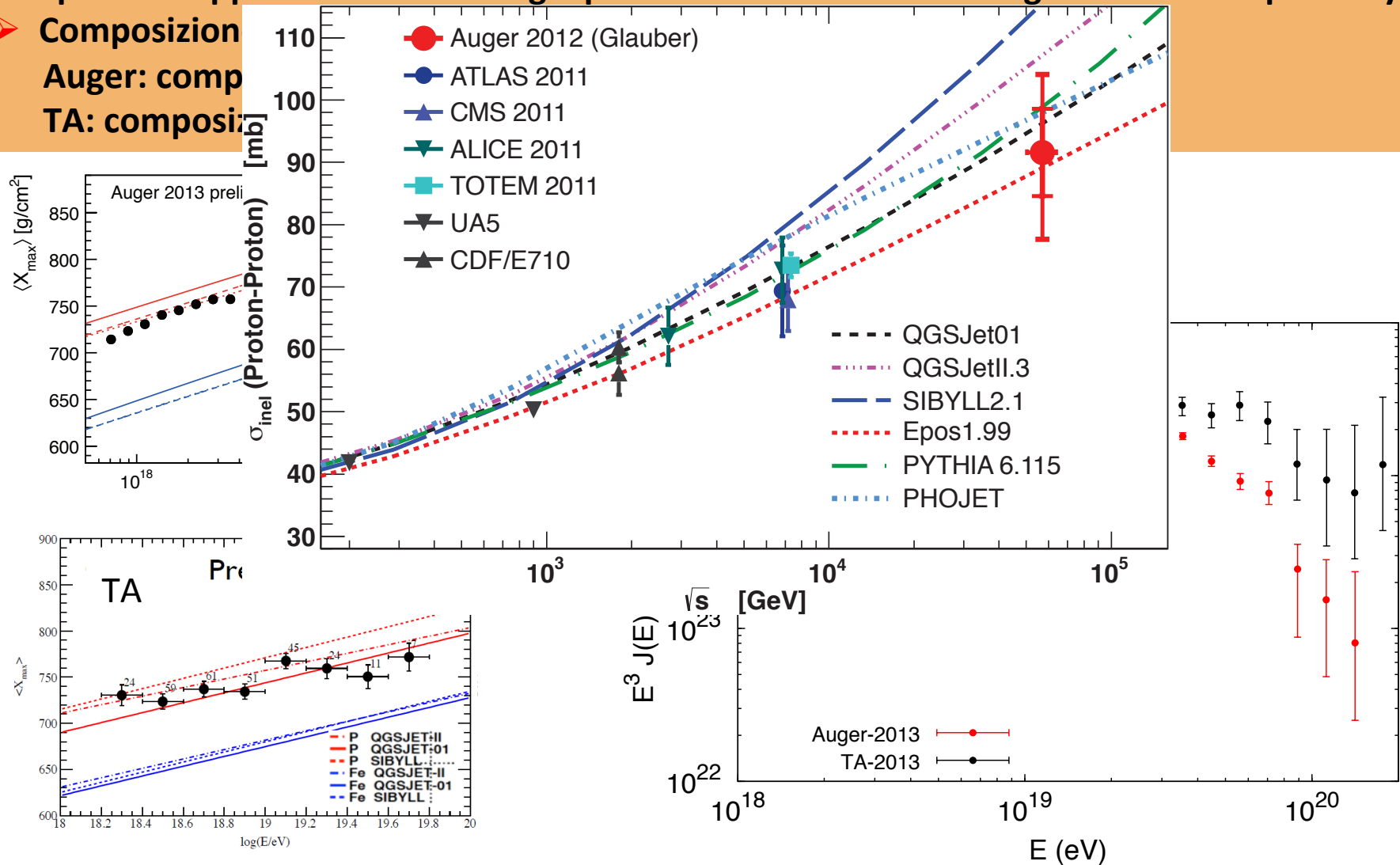
- **Eccesso di positroni: accordo AMS-Pamela-Fermi.**
- **Interpretazioni: DM vs Pulsar e meccanismi di riaccelerazione.**
- **Antiprotoni: osservazioni in accordo con attese astrofisiche -- aspettando AMS-2.**

RC carichi extragalattici

1. Propagazione in backgrounds astrofisici, campi magnetici extragalattici
2. Sorgenti: solo ipotesi (AGN, PWN, GRB, TD,)

➤ **Spettro: soppressione alle energie più alte osservata sia da Auger che Telescope Array**

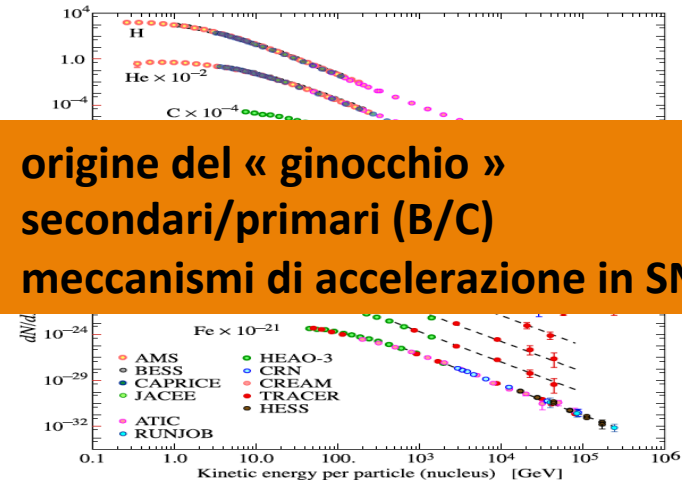
➤ **Composizione**
Auger: comp
TA: composi



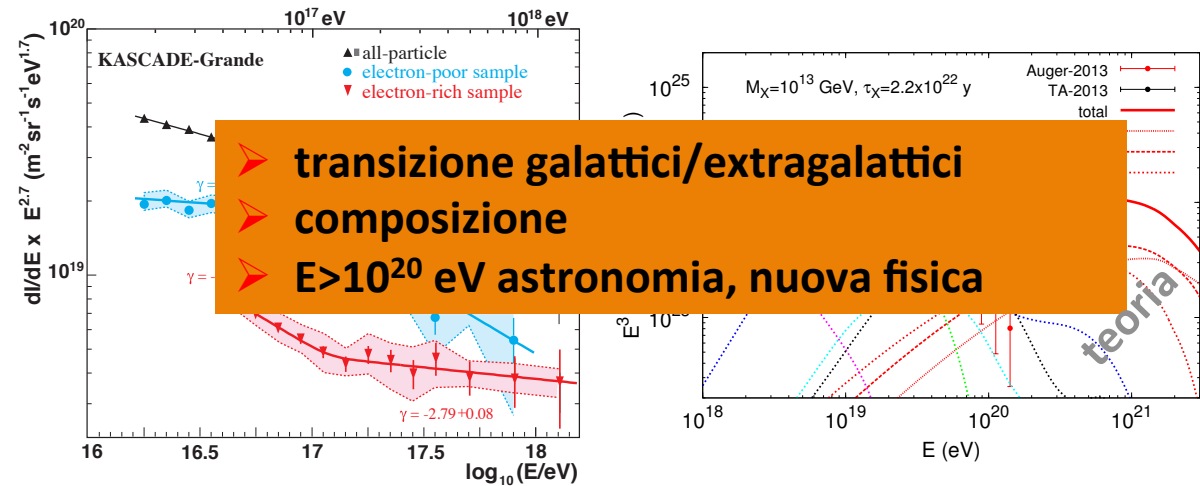
sviluppi futuri

➤ RC galattici

- origine del « ginocchio »
- secondari/primari (B/C)
- meccanismi di accelerazione in SNR

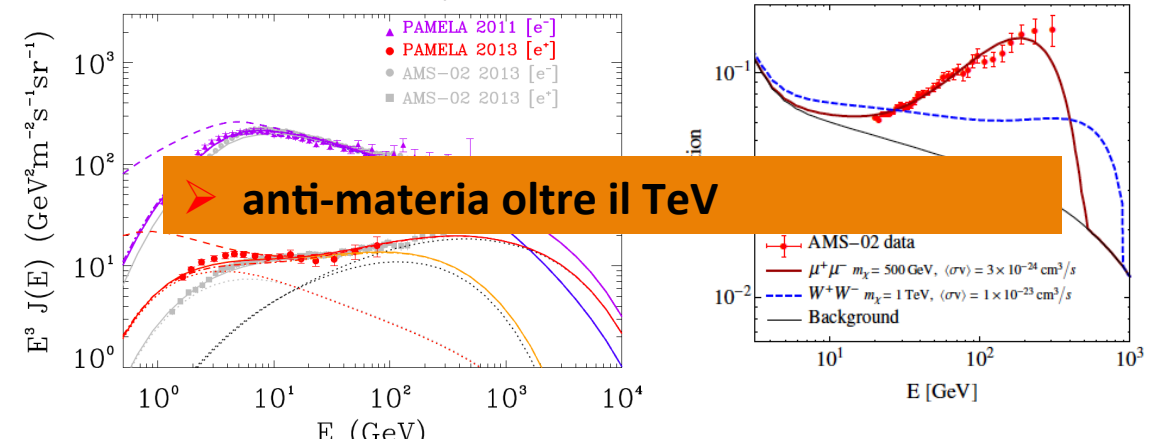


➤ RC extragalattici



- transizione galattici/extragalattici
- composizione
- $E > 10^{20}$ eV astronomia, nuova fisica

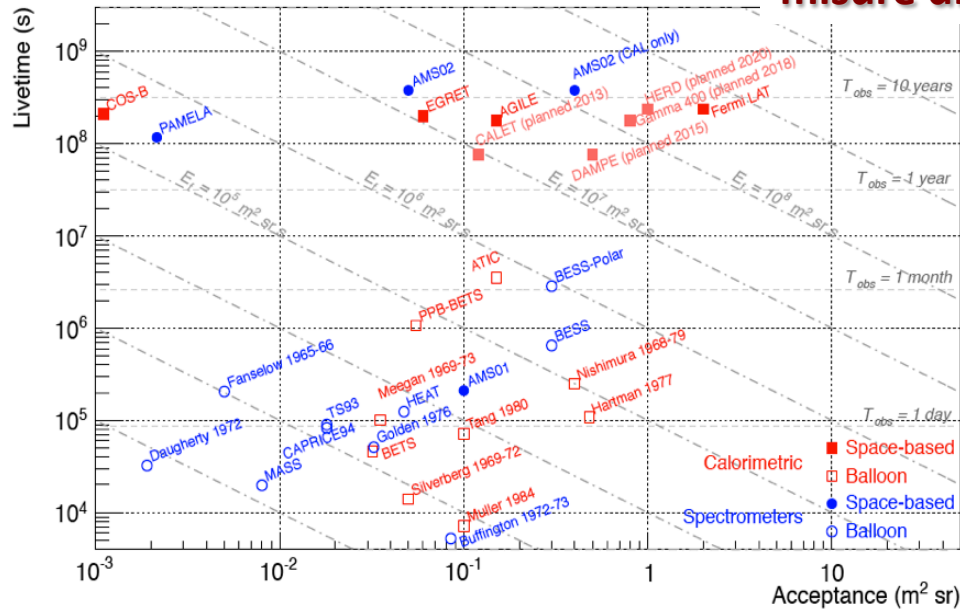
➤ nuove particelle, nuovi fenomeni



- anti-materia oltre il TeV

sviluppi futuri: esperimenti

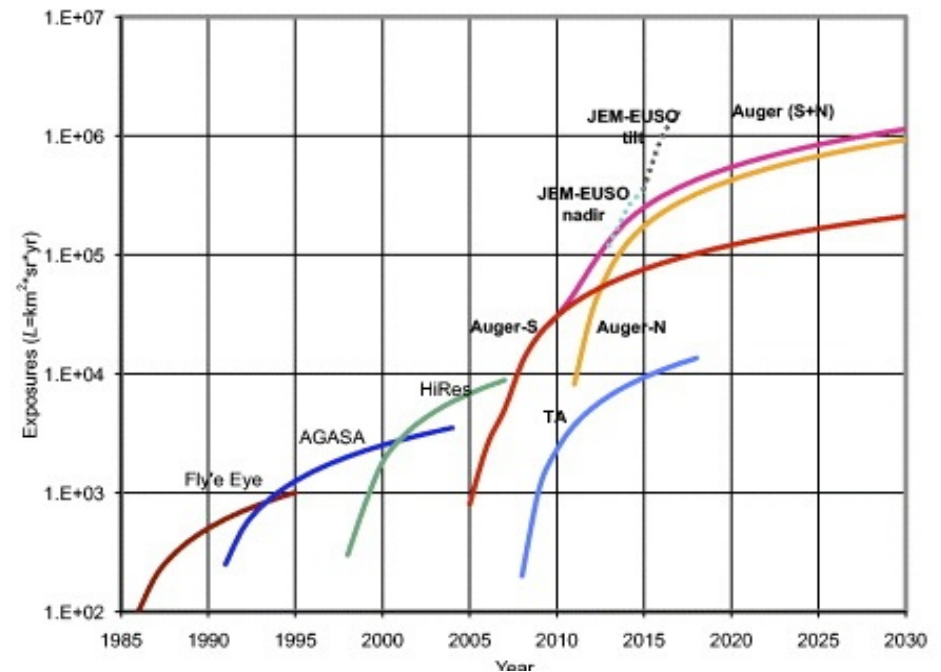
misure dirette



- presente:
AMS02, Pamela
- futuro prossimo:
CALET, DAMPE, G400
- >2018
HERD, AMS-3, Magnetic Bubble, ...

- presente:
Auger, TA, Kascade, YAC1-Tibet, Argo-YBJ
- futuro prossimo:
LHAASO, IceTop, Tunka, HISCORE
- futuro
Auger next, JEM-EUSO, ...

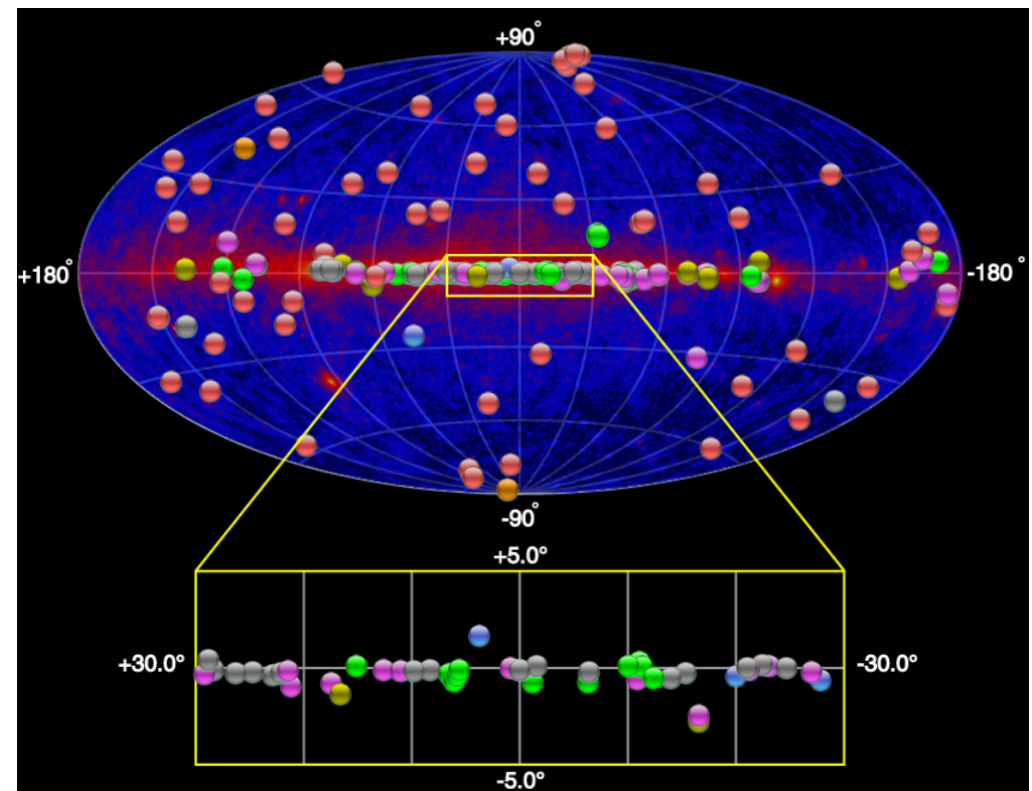
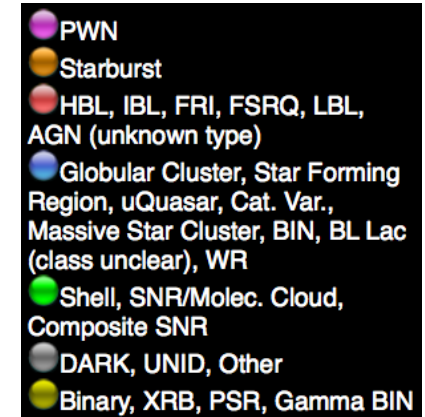
misure indirette



astrofisica gamma al GeV/ TeV

Negli ultimi 10 anni fattore 10-30 nel numero di sorgenti (Fermi, Agile, HESS, MAGIC, VERITAS, ARGO, MILAGRO)

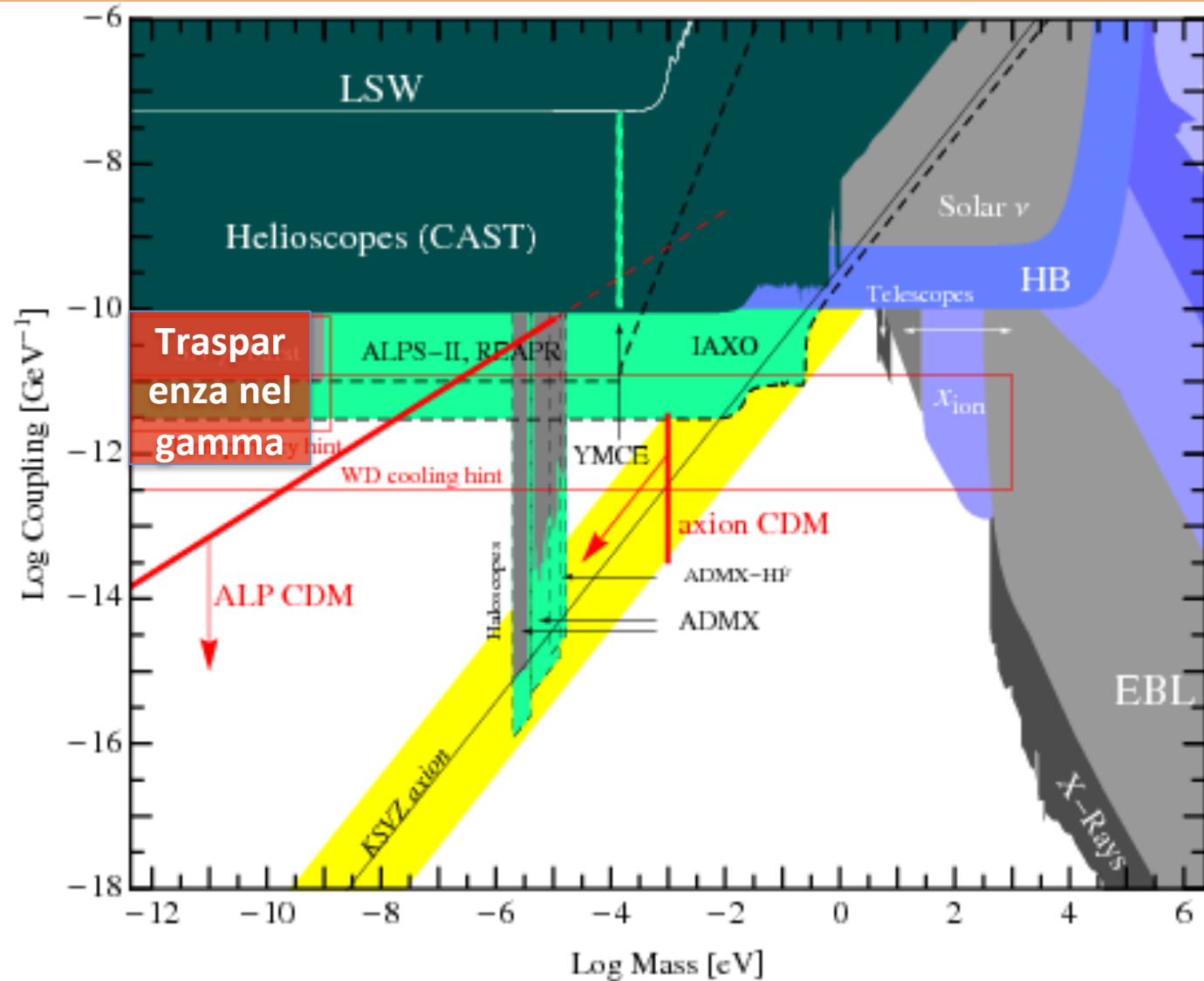
- scoperti nuovi tipi di sorgenti galattiche di raggi cosmici (binarie, pulsar, ...)
- evidenze di accelerazione di particelle a ~ 100 TeV in SNR.
- osservati gamma da sorgenti extragalattiche a distanze cosmologiche
- limiti molto stringenti su violazioni invarianza di Lorentz
- vincoli a modelli di DM da (non) osservazione di secondari



2500 sorgenti $E > 100$ MeV;
200 sorgenti $E > 100$ GeV

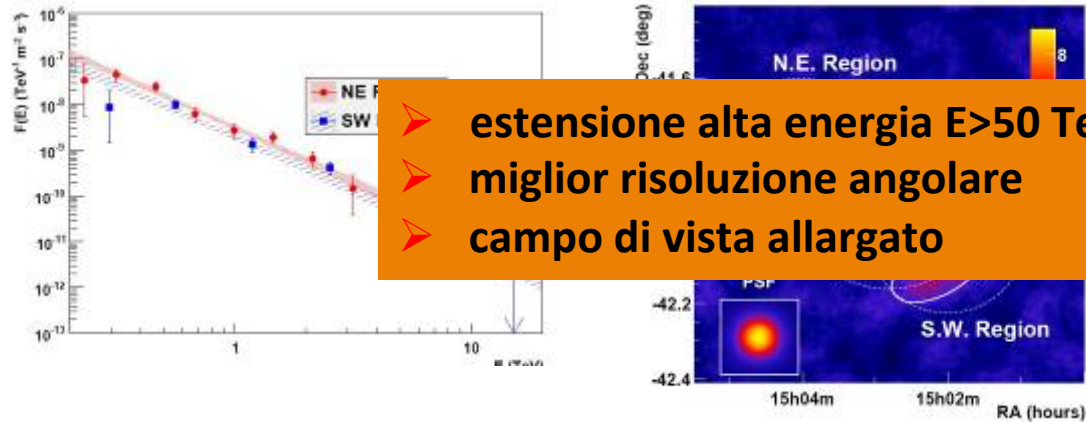
assioni

La propagazione anomala dei gamma, che può essere spiegata con l'oscillazione gamma/assione, identifica una regione di massa/coupling dell'assione che ha sovrapposizione con quanto verificabile in laboratorio



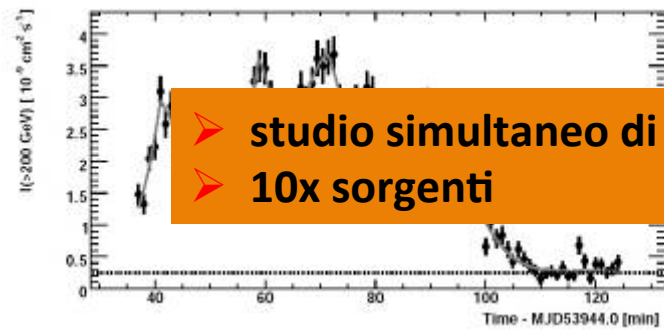
sviluppi futuri

➤ Sorgenti galattiche e CR



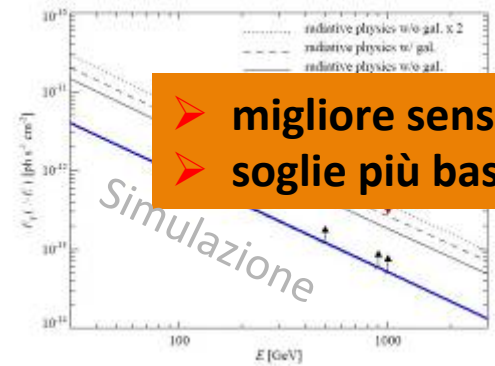
➤ estensione alta energia $E > 50$ TeV
➤ miglior risoluzione angolare
➤ campo di vista allargato

➤ AGN e propagazione gamma

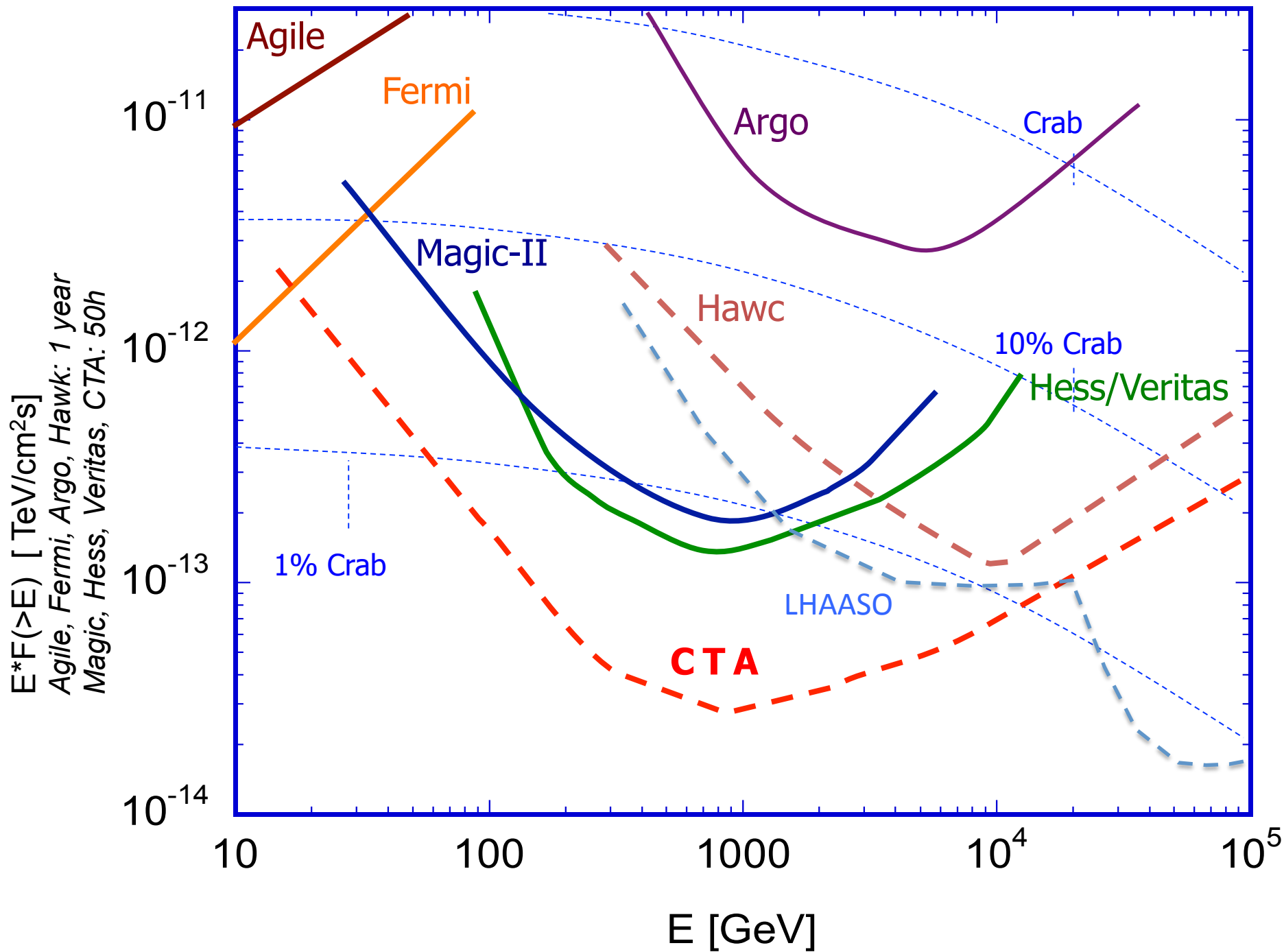


➤ studio simultaneo di più sorgenti
➤ 10x sorgenti

➤ Nuove particelle, nuovi fenomeni

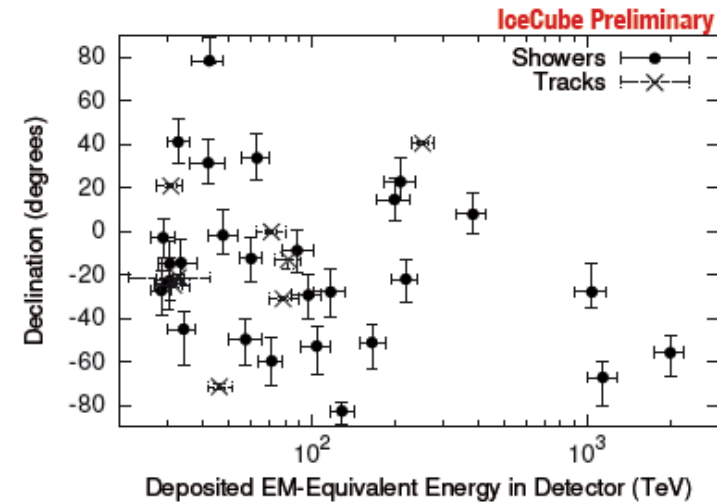
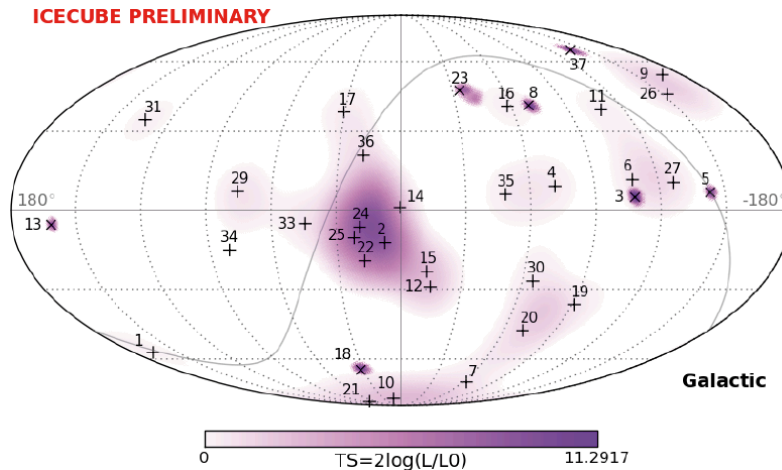


➤ migliore sensibilità flussi
➤ soglie più basse



neutrini cosmici

IceCube: prima osservazione di neutrini di alta energia di origine extraterrestre
(Science 2013, vol 342)



- analisi estesa su tre anni: 36 eventi (3 al PeV)
- 28 eventi sciame, 8 eventi tracce μ (vertice contenuto), 27 downgoing e 9 upgoing
- anisotropia in prossimità del centro galattico non statisticamente significativa
- $E > 60 \text{ TeV}$ $E^2\phi \sim 10^{-8} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ per flavour , significatività 5.7σ

considerazioni generali

- I risultati di IceCube segnano l'avvio dell'astronomia con neutrini di alta energia
- Il fatto che si siano visti in IceCube in configurazione completa (circa 1 km³) conferma le stime che indicano come dimensione necessaria per la rivelazione il km³ (Waxman & Bahcall $3.4 \times 10^{-8} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ all flavor).
- Rimangono aperte tutte le questioni relative alla interpretazione
 - Flusso diffuso alla Waxman & Bahcall
 - Sorgenti extra galattiche: AGN, GRB, Starburst Galaxies, GZK...
 - Emissione dal centro della via lattea
 - Sorgenti galattiche, piano galattico, Fermi Bubbles
 - Componente "prompt" dei neutrini atmosferici
 - Decadimento di Materia Oscura Superpesante
 - ...
- Va sottolineata l'esistenza di potenziali sorgenti galattiche

KM3Net obiettivi di fisica

- **Risoluzione angolare fondamentale per la ricerca di sorgenti puntiformi (galattiche ed extra-galattiche) e per la significatività di effetti di “clustering”**
 - $E > 10 \text{ TeV}$: IceCube circa 1° , KM3NeT circa 0.1°
- **Visibilità per neutrini up-going per la totalità del campo galattico incluso il centro galattico. Possibilità di analizzare i dati dell'emisfero Sud con metodi diversi da quelli di IceCube, per energie più basse ($\sim 1 \text{ TeV}$ vs $\sim 10 \text{ TeV}$ in IceCUBE)**

- **Proposta la costruzione di una fase intermedia del rivelatore KM3Net a Capo Passero (circa 200 stringhe, volume $1-2 \text{ km}^3$) obiettivi:**

- ✧ Conferma risultato di IceCube
- ✧ Ricerca di anisotropie con ampia copertura del cielo e in particolare della regione galattica
- ✧ Avvio astronomia con neutrini di alta energia => Ricerca di sorgenti puntiformi, per la quale è essenziale la migliore risoluzione angolare

altro...

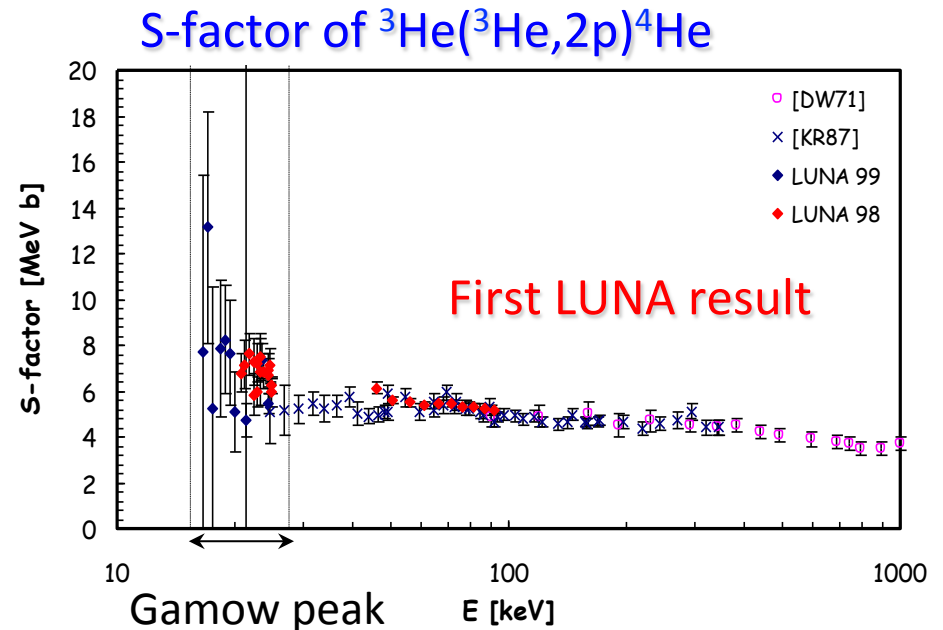
- ✧ Ricerca indiretta di Materia Oscura in particolare dal Centro Galattico
- ✧ Misure delle oscillazioni di neutrini atmosferici per la determinazione della gerarchia di massa (ORCA => utilizzo della stessa tecnologia, della stessa infrastruttura, con diversa geometria e granularità del rivelatore).

- **In corso: studi per l'ottimizzazione del rivelatore (dati i risultati di IceCube)**

astrofisica nucleare

- misure di fisica nucleare rilevanti per l'astrofisica ($^{12}\text{C} + \alpha$, effetti dello screening, misure in plasmi prodotti in laboratorio....)
- le stelle come laboratori di fisica astroparticellare (neutrini da CNO, abbondanze solari superficiali, neutrini da supernova, materia oscura...)
- astrofisica nucleare e problemi cosmologici (LUNA ed età dell'universo, big bang nucleosintesi, problema del litio...)
- osservazioni astronomiche e fisica nucleare (tracciamento gamma degli elementi prodotti nelle supernove, abbondanze isotopiche desunte dai raggi cosmici....)

ESEMPIO: Luna ha mostrato come il problema dei neutrini solari non fosse di natura nucleare o astrofisica ma di tipo particellare. Future misure di precisione delle sezioni d'urto per particolari reazioni permetteranno di capire meglio i dettagli della combustione dell'He. Con impatto delle misure di fisica nucleare sulla ricerca di nuova fisica, e.g., assioni.



gamma al MeV

Misure al MeV multipurpose

Righe emissioni nucleari: fisica delle supernovae, formazione pianeti (vita extraterrestre?).

Fondo gamma diffuso: accesso alla fisica dell'annichilazione materia-antimateria in zone particolari dell'universo.

problema del Litio

Il Litio osservato nelle stelle antiche è almeno 5 volte più piccolo di quanto atteso dal big bang dopo Planck. La discrepanza potrebbe essere nucleare e risiedere nella cattiva conoscenza delle interazioni deboli nei plasmi, in particolare ${}^7\text{Be} + e^- \rightarrow {}^7\text{Li}$.

I plasmi possono influenzare i decadimenti in modo cruciale e ancora spesso usiamo metodi alla Debye-Hueckel (1925!!) per stimarli.

Esperimenti migliori (ora possibili nelle trappole ioniche) sarebbero essenziali.

M3 Mission proposals for the Cosmic Vision 2015 - 2025

DUAL

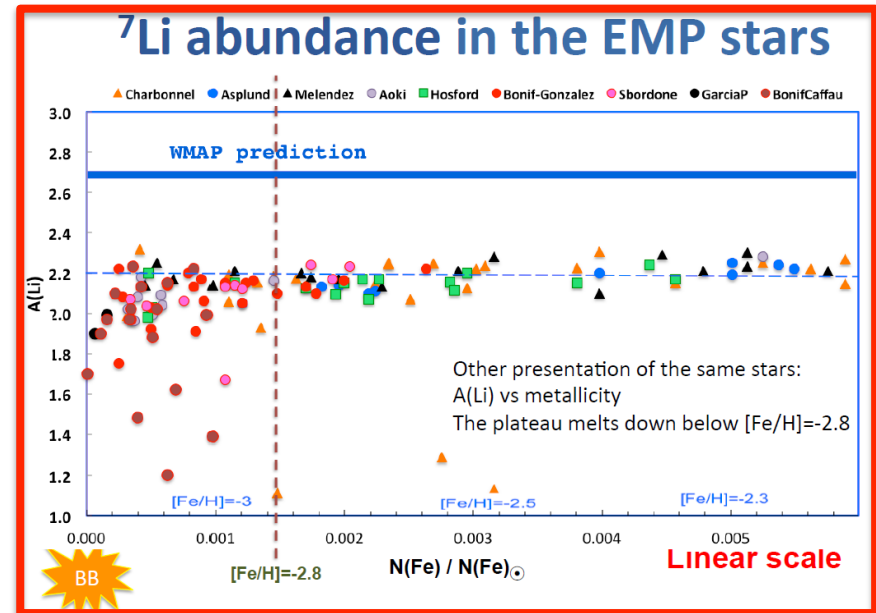
- Compton telescope made of **cross-strip Ge detectors** (0.1 – 10 MeV)
- 2 optical modules on the main satellite: a **Laue lens** and a **coded mask**
- Soyuz launcher to an **L2 orbit**

GRIPS

- Main instrument is a **Compton and pair telescope** (0.2 – 80 MeV) with a tracker in **Si DSSDs** and a calorimeter in **LaBr₃**
- Soyuz launcher to an **equatorial low Earth orbit**

CAPSITT

- Compton and pair telescope with a tracker in **Si DSSDs** (0.1 – 100 MeV)
- **No calorimeter** (3-Compton technique)
- VEGA launcher to an **equatorial low Earth orbit**



radiazione cosmica: conclusioni

- Un campo di ricerca ricco di fenomenologia da capire, che produce risultati validi e ampiamente riconosciuti, con importanti implicazioni per la ricerca nuova fisica.
- Non dipende criticamente dalle ricerche di fisica oltre il modello standard a LHC e/o di materia oscura al Gran Sasso ed altrove.
- Le sinergie sono numerose ed evidenti: i 3 esperimenti ad LHC motivati dai raggi cosmici; le misure volte a capire i meccanismi di produzione di particelle; il cosmo visto come sede di acceleratori e/o laboratori...
- Un bel saggio di Kolb si intitola: "Mille invisibili corde che legano l'astronomia e la fisica delle alte energie". Il nostro suggerimento: impariamo a prenderne il massimo vantaggio, non usiamole per impiccarci.

Data	Premi Nobel	Motivazione
2011	Perlmutter, Schmidt, Riess	Espansione accelerata Universo
2006	Mather, Smoot	Anisotropia del CMB
2002	Davis, Koshiba, Giacconi	Astronomia Neutrini e raggi X
1993	Hulse, Taylor	Nuovo tipo di pulsar - GR
1983	Chandrasekhar, Fowler	Astrofisica nucleare
1978	Penzias, Wilson	Scoperta dalla CMB
1974	Ryle, Hewish	Astrofisica radio
1970	Alfven	Magnetoidrodinamica

Parola chiave	Articoli pubblicati	Citazioni ricevute	Media citazioni
Gamma ray	5200	170K	32
Supernova	3400	160K	46
Cosmic ray	4000	100K	24
Solar neutrino	1000	57K	55
CMB	1200	44K	37
SN1987A	250	10K	38