

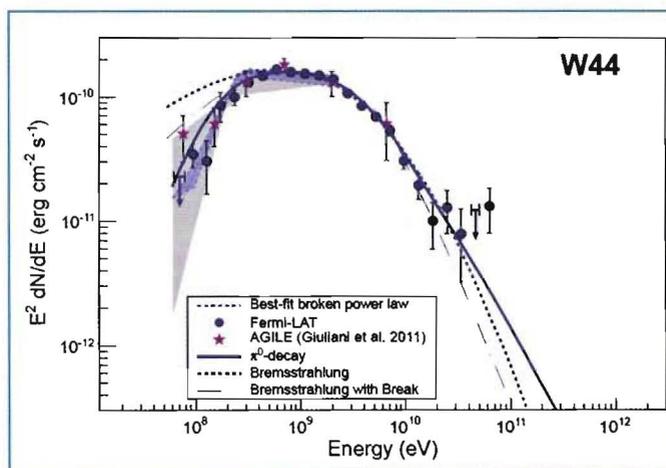
# È CERTO: LE SUPERNOVE sorgenti di raggi cosmici

Lo conferma l'osservazione di alcuni resti di esplosioni stellari eseguita con i satelliti "Fermi" e "AGILE"

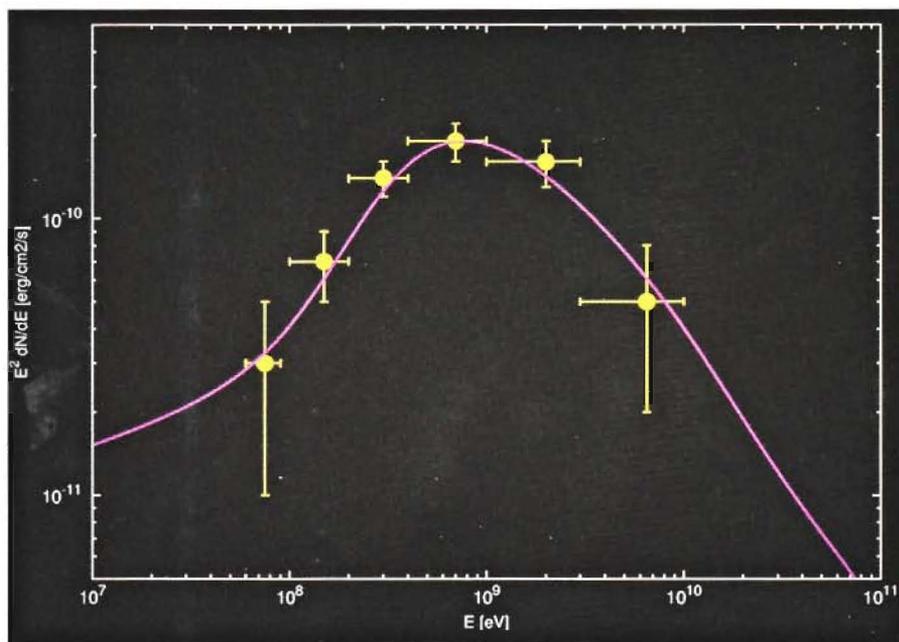
Da un secolo sappiamo che la Terra è costantemente sottoposta a una doccia di particelle di altissima energia che ci piovono addosso da ogni direzione. Questi numerosissimi (ma invisibili) visitatori vennero scoperti, più o meno contemporaneamente, tra il 1911 e il 1912, da Victor Hess e Domenico Pacini (v. "le Stelle" n. 101, pp. 36-43 e "le Stelle" n. 113, pp. 55-59). Entrambi volevano capire cosa facesse scaricare gli elettroscopi e procedevano su due vie parallele: Hess usava le mongolfiere per misurare la velocità di scarica a sempre maggiore altezza, Pacini l'esperimento lo faceva sott'acqua a diverse profondità. Arrivarono alle stesse conclusioni: responsabile della scarica degli elettroscopi era un qualche tipo di radiazione proveniente dall'alto. Robert Millikan coniò il bel nome di "raggi cosmici" e per decenni il loro studio fu uno dei punti focali della fisica. L'Italia ebbe un campione indiscusso in Bruno Rossi che, nel 1933, con una storica spedizione nell'Etiopia italiana, dimostrò che i raggi cosmici sono particelle di carica positiva. Il più giovane Giuseppe Occhialini, ospite di un laboratorio inglese, nei raggi cosmici trovò l'anti-elettrone (che oggi chiamiamo positrone), peccato che Carl Anderson l'avesse preceduto di poco. La scoperta dei raggi cosmici verrà premiata con il Nobel nel 1936. Il comitato riconobbe il contributo di Pacini, che era mancato due anni prima, e assegnò ad Hess metà del premio mentre l'altra metà andò a Carl Anderson. Quando, negli anni '50, i fisici impararono a costruire acceleratori, i raggi cosmici tornarono a essere interessanti di per sé, perché bisognava ancora capire quale fosse la loro origine. Difficile dire da dove vengano perché il debole campo magnetico che pervade la nostra Galassia è sufficien-

te per curvare la loro traiettoria rendendo impossibile ricostruire la loro direzione di origine. Non resta che procedere a ritroso cercando di capire quali condizioni fisiche siano necessarie per accelerare particelle ad energie così alte (anche superiori a quelle raggiungibili dagli acceleratori del Cern). L'idea brillante venne ad Enrico Fermi che propose un meccanismo tipo ping-pong per aumentare la velocità (quindi l'energia cinetica) delle particelle grazie a rimbalzi su strutture in movimento nel mezzo interstellare. Ovviamente le particelle non rimbalzano contro un muro ma interagiscono con una struttura, tipicamente un filamento, caratterizzata da densità maggiore di quella dell'ambiente circostante, quindi da un campo magnetico più elevato. È il campo magnetico che devia la traiettoria delle particelle ridistribuendole in tutte le direzioni. È un meccanismo stocastico: per caso ci saranno delle particelle che, rimbalzo dopo rimbalzo, aumenteranno la loro energia, altre invece no. Quelle che rimangono intrappolate nel campo magnetico del filamento, ad ogni rimbalzo acquistano un po' di energia a spese del moto del filamento e vengono accelerate. Le strutture in movimento più spettacolari che conosciamo sono i resti di supernova cioè il risultato di esplosioni celesti, nel corso delle quali una stella scaglia nello spazio buona parte (o anche la

totalità) della sua massa formando bolle di gas in rapida espansione. La materia dei gusci si porta appresso il suo campo magnetico originale. Le onde d'urto dovute all'esplosione comprimono la materia dei gusci e materia compressa significa campo magnetico più intenso. Con il passare del tempo, i gusci si spezzano in filamenti che continuano a muoversi, magari scontrandosi tra loro. Quindi, l'identikit delle possibili sorgenti di raggi è presto fatto: gli oggetti celesti ideali per ospitare le strutture adatte ai rimbalzi sono i resti delle esplosioni di supernova. L'astronomia X, grazie alle osservazioni di Chandra e XMM-Newton, ci ha fornito prove convincenti che i resti di supernova emettono radiazione di sincrotrone prodotta da elettroni accelerati che interagiscono con il campo magnetico dei filamenti in movimento. È un buon inizio. Ma non basta. Noi sappiamo che la maggioranza dei raggi cosmici sono protoni e quello che cerchiamo è la prova della presenza di pro-



I dati delle missioni AGILE e Fermi per il resto W44 confermano la piegatura verso il basso dello spettro gamma per energie inferiori a 100 MeV e quindi la produzione da decadimento del pione neutro.

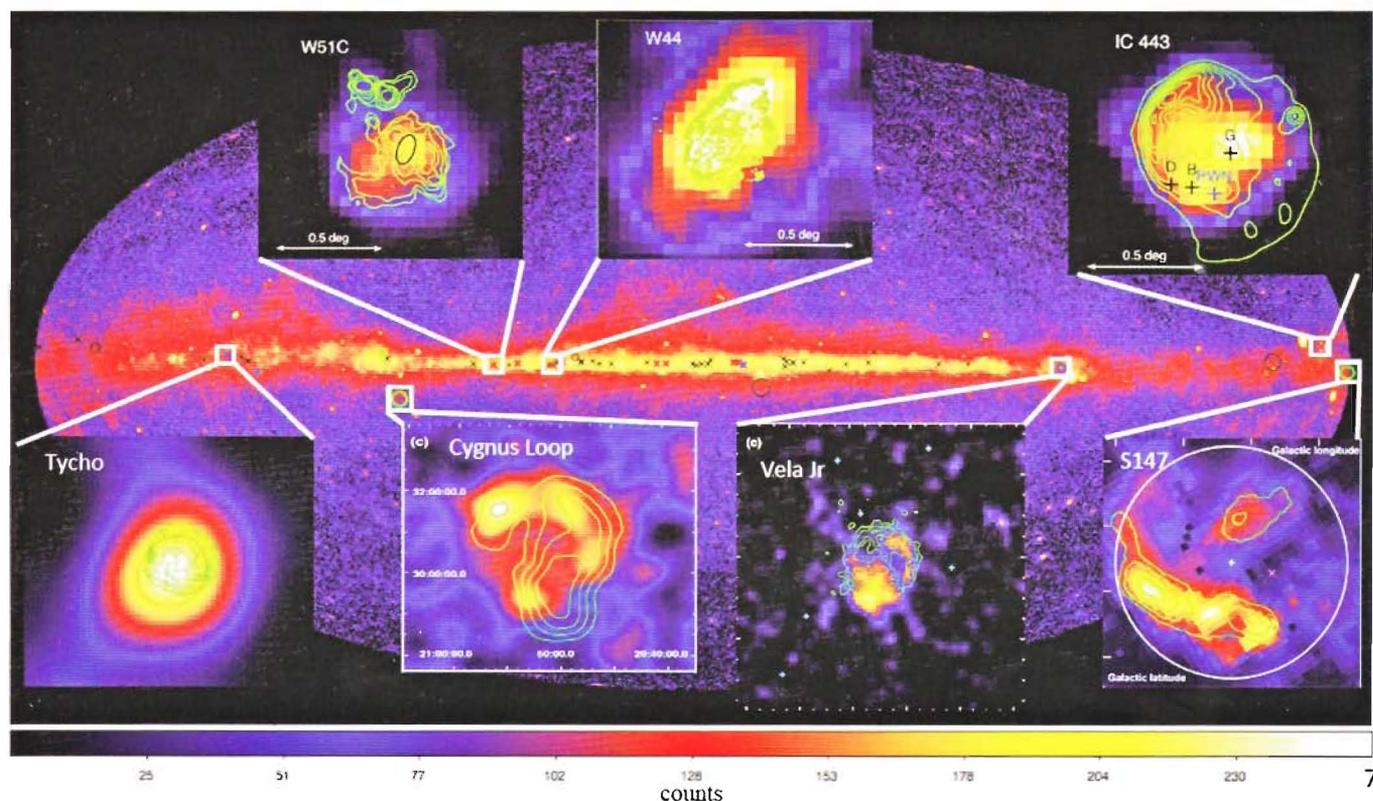


I dati più recenti di AGILE (in giallo) su W44 seguono molto bene l'andamento della curva del decadimento atteso del pione neutro (in viola).

toni accelerati. Peccato che i protoni siano più difficili da rivelare degli elettroni. Non emettono radiazione di sincrotrone (i cam-

pi magnetici dei resti di supernova fanno il solletico ai protoni) e l'unico modo che abbiamo di indovinare la presenza di pro-

toni accelerati è attraverso i prodotti della loro interazione con il mezzo interstellare. Quando un protone dei raggi cosmici colpisce un protone del mezzo interstellare vengono prodotte diverse particelle, una delle quali, il pione neutro, in simboli  $\pi^0$ , decade immediatamente in due raggi gamma di alta energia. Se questi fotoni, che vengono emessi in tutte le direzioni, viaggiano in direzione della Terra hanno una certa probabilità di essere registrati dai telescopi gamma che operano in orbita terrestre: AGILE, della Agenzia Spaziale Italiana, e Fermi della NASA (con una importante partecipazione italiana). Dal momento che i raggi gamma si propagano in linea retta, possiamo capire da dove vengono. È in questo modo che l'astronomia gamma può partecipare da protagonista alla caccia alle sorgenti dei raggi cosmici. Basta allora puntare AGILE e Fermi verso un resto di supernova per avere la prova dell'accelerazione dei raggi cosmici? Non è così semplice. Abbiamo detto che oltre ai protoni accelerati ci vogliono dei protoni bersaglio, quindi non basta guardare un bel resto di supernova, occorre selezionare



Mapa della Via Lattea che indica la posizione dei resti di supernova IC443 e W44, i più promettenti per lo studio dei raggi cosmici.

un resto che si stia espandendo contro una nube interstellare. Per di più, i resti non devono essere troppo giovani per evitare un contributo troppo importante da parte dei sempre presenti elettroni, che sono anche capaci di produrre raggi gamma con un meccanismo che i fisici chiamano "effetto Compton inverso". Questo restringe la scelta a un numero esiguo di oggetti. I più promettenti sono IC 443 (nell'anticentro della nostra galassia, più o meno a metà strada tra la Nebulosa Granchio e Geminga), e W44, immerso nel piano della nostra galassia (vedi figura). Entrambi sono stati studiati in dettaglio da AGILE e Fermi e i risultati concordano nel mostrare la firma della presenza di protoni accelerati. Entrambi sono rivelati come sorgenti estese e la forma vista in gamma è compatibile con quella tracciata sulla base dei dati radio. Non è la forma del resto di supernova che ci mostra i protoni bensì lo spettro. È lì che si può trovare la prova che i raggi gam-

ma sono stati prodotti dall'interazione dei protoni dei raggi cosmici con i protoni del mezzo interstellare.

Il pione  $\pi^0$ , quando decade, dà origine a due raggi gamma che ereditano sia la sua energia di massa, sia la sua energia cinetica. La massa del  $\pi^0$  è 135 MeV, quindi i due gamma possono contare su un'eredità di massa di circa 70 MeV ciascuno, ma non si tratta di fotoni monocromatici perché nel decadimento si conserva anche l'energia cinetica della particella originale. Come risultato, il decadimento del  $\pi^0$  produce uno spettro di raggi gamma con un caratteristico picco intorno a 100 MeV (tenendo conto delle incertezze nella determinazione dell'energia dei fotoni gamma incidenti).

L'effetto Compton inverso degli elettroni, invece, produce uno spettro a legge di potenza che continua a salire verso le basse energie, senza piegature e senza gobbe.

Vedere lo spettro gamma che si piega ver-

so il basso per energie inferiori a 100 MeV significa che quei gamma sono stati prodotti da decadimento di  $\pi^0$ . Tutta questa lunghissima premessa per dire che è questa piegatura dello spettro che hanno visto sia AGILE sia Fermi, come mostrato nel grafico che riporta i dati delle due missioni per W44.

In effetti i punti di AGILE si riferiscono a un articolo pubblicato più di un anno fa, i dati più recenti, gentilmente forniti da Marco Tavani (INAF-IASF Roma e Università di Roma Tor Vergata), vincitore del Premio Bruno Rossi 2012 per gli straordinari risultati di AGILE, sono ancora più spettacolari (vedi figura).

È la fine del mistero? Solo in parte. Grazie ad AGILE e a Fermi adesso sappiamo dove vengono accelerati i raggi cosmici che ci piovono addosso continuamente, ma non abbiamo ancora capito esattamente come ciò avvenga.

Patrizia Caraveo

**iOptron SkyTracker™**

**L'ASTROINSEGUITORE PER LA TUA CAMERA DIGITALE!**

**DETTAGLI TECNICI**

- Inseguimento di 0,5X rispetto quello siderale per fotografie sia del cielo che del paesaggio
- Supporto micrometrico per la regolazione dell'altezza, l'unico ad averlo incluso nel prezzo
- Funziona con 4 batterie stilo AA che garantiscono un funzionamento di 24 ore (a 20° di temperatura)
- Canocchiale polare illuminato incluso nel prezzo

TUO A € 399,00

**TecnoSky** di Giuliano Monti

info@tecnosky.it  
**WWW.TECNOSKY.IT**

Vendita di strumenti e accessori per l'astronomia, assistenza, riparazioni e modifiche - Via Fubine, 79 CAP 15023 - Felizzano (AL)