

# Raggi cosmici: svelate le sorgenti

*L'esperimento Auger punta il dito sulle galassie attive, ma non tutti sono d'accordo.*

**L**raggi cosmici sono una realtà nella quale siamo immersi senza rendercene conto. Si tratta di particelle cariche (per lo più protoni) accelerate ad energie che spaziano su un vasto intervallo di valori. Prendendo come riferimento l'elettronvolt (eV), grossomodo equivalente all'energia di un fotone ottico, si va da molti milioni di eV fino a centinaia di miliardi di miliardi di eV. Il numero di particelle decresce sensibilmente al crescere dell'energia, andando da flussi di qualche particella per cm<sup>2</sup> per secondo, alle energie più basse, fino a valori di una

particella per km<sup>2</sup> ogni 100 anni per le energie più alte. Queste ultime sono poche, ma toste, perché ciascuna trasporta un'energia simile a quella depositata dalla caduta di un grosso chicco di grandine.

Le particelle più energetiche hanno rappresentato un vero enigma fin da quando vennero rivelate per la prima volta negli anni '60. Contrariamente a quanto avviene per la stragrande maggioranza dei raggi cosmici, si ritiene che queste particelle abbiano origine al di fuori della nostra Galassia.

Il campo magnetico di pochi microgauss

che permea tutta la Via Lattea è in grado di incurvare le traiettorie dei raggi cosmici, che sono costretti a descrivere spirali più o meno ampie intorno al piano della Galassia. Un raggio cosmico di energia di 10<sup>10</sup> eV, per esempio, ha un raggio di curvatura di 3×10<sup>13</sup> cm, paragonabile all'asse maggiore dell'orbita terrestre. Le traiettorie spiraleggianti fanno ovviamente perdere memoria del punto di partenza: la direzione d'arrivo sulla Terra non ha più niente a che vedere con la posizione in cielo della sorgente, il che rende non banale capire quali oggetti celesti siano in



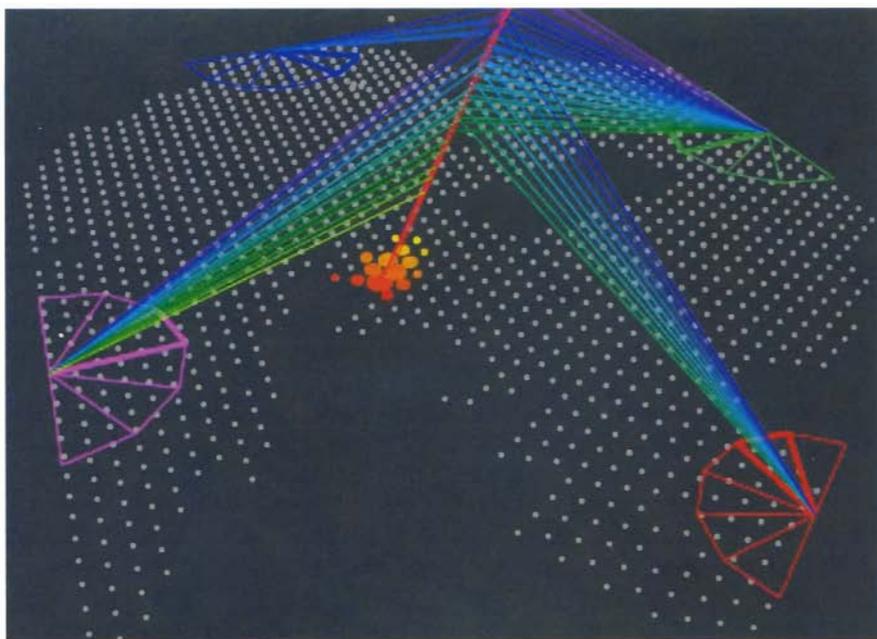
*L'Osservatorio Auger dispone di quattro telescopi per osservare la luce di fluorescenza (come quello sulla collina) e di 1600 rivelatori di superficie (come quello in basso).*

grado di accelerare le particelle. Poiché l'ampiezza della spirale è direttamente proporzionale all'energia dei raggi cosmici, salendo in energia le spirali diventano sempre più aperte fino a quando, intorno a energie di  $2 \times 10^{17}$  eV, i raggi di curvatura diventano superiori a 1000 anni luce, lo spessore del disco della nostra Galassia. Per energie maggiori – fissiamoci sul valore di  $10^{18}$  eV (per la cronaca,  $10^{18}$  eV equivalgono a 1 EeV, exa-electron volt) – i raggi cosmici non risentono quasi più del campo magnetico galattico e possono propagarsi liberamente dentro la Via Lattea.

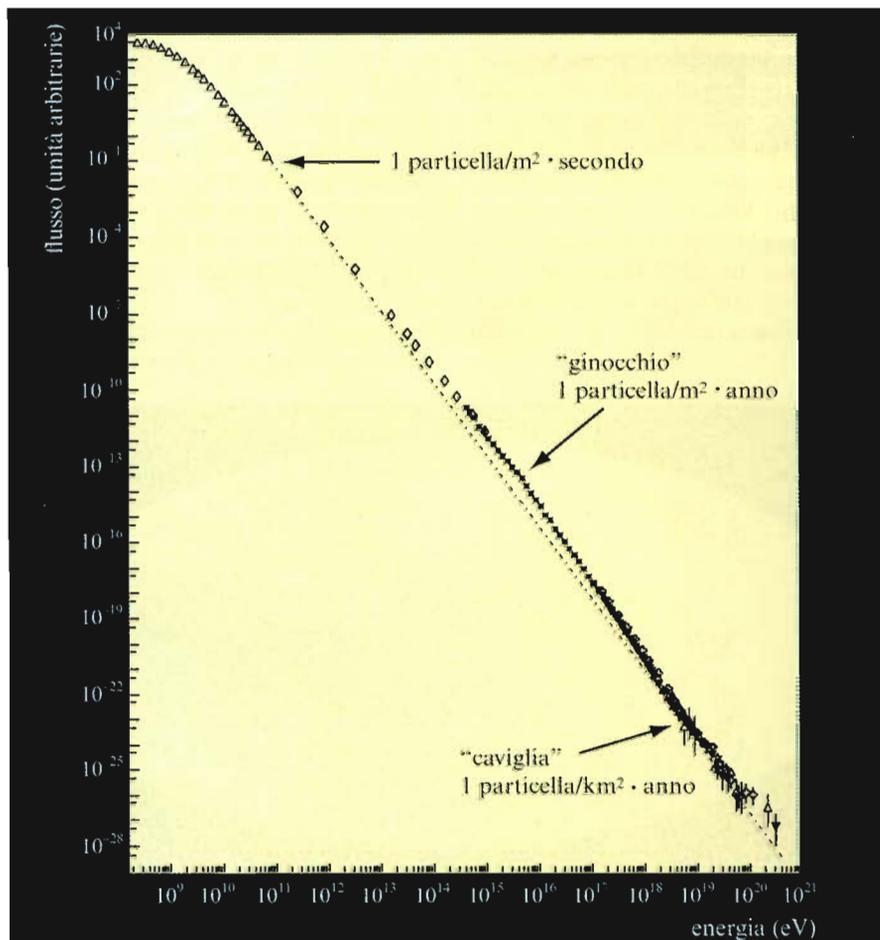
Particelle cariche di energia ancora maggiore (diciamo 50 EeV) viaggiano praticamente in linea retta e quindi conservano una qualche memoria del loro luogo di origine. Le particelle di energia così elevata, però, hanno un nemico che le può facilmente distruggere: la radiazione cosmica di fondo. Se una particella di alta energia incontra sul suo cammino un fotone del fondo cosmico, essa cede parte della sua energia e non potrà più essere considerata un raggio cosmico di energia ultra alta. Questo effetto, che prende il nome di GZK (dai nomi dei fisici Greisen, Zatsepin e Kuzmin che lo hanno predetto) limita di fatto il viaggio delle particelle a circa 600 milioni di anni luce, dopo di che esse cessano di essere particelle di altissima energia. Al di là di questo limite, infatti, la probabilità di interazione cresce fino a 1, ovvero fino alla certezza: per così dire, l'Universo diventa opaco.

Poiché le particelle di altissima energia non vengono deviate eccessivamente dai campi magnetici, dovrebbe essere possibile capire quali oggetti del nostro "vicinato" siano responsabili della loro produzione. I raggi cosmici, però, non arrivano intatti fino al suolo: l'atmosfera fornisce loro materiale con il quale interagire per formare sciame di particelle che si allargano a cono e che al suolo investono una superficie di diversi km<sup>2</sup>. Per rivelare i raggi cosmici è quindi necessario misurare lo sciame da questi prodotto. È il compito dello strumento Auger, composto da un'impressionante rete di rivelatori di particelle nella pampa argentina.

Visto che gli eventi interessanti sono molto rari, per avere una ragionevole probabilità di rivelare qualche decina di



I due tipi di strumenti dell'Auger rivelano lo sviluppo dello stesso sciame atmosferico mediante tecnologie diverse, come esemplificata in questo disegno.



Spettro dei raggi cosmici che impattano l'atmosfera terrestre, con indicazione del flusso delle particelle alle varie energie.

eventi è stato necessario coprire 3000 km<sup>2</sup> di pampa con 1600 rivelatori posti ai vertici di triangoli equilateri con lato di 1,5 km. La rivelazione di uno sciame richiede il segnale da tre rivelatori contigui: dalle minuscole differenze nei tempi di arrivo dei segnali nei diversi rivelatori si riesce a ricostruire la direzione di arrivo della particella originaria.

È anche possibile corroborare questa informazione con l'utilizzo di telescopi ottici che tracciano la traiettoria dello sciame grazie all'emissione dell'azoto dell'atmosfera che, dopo essere stato eccitato dal passaggio delle particelle cariche, diseccitandosi emette radiazione di fluorescenza. Confrontando i risultati dei telescopi ottici con quelli dei rivelatori di particelle si può migliorare la determinazione della direzione di arrivo delle particelle fino a ottenere una precisione di circa 1°.

Dal 2004 lo strumento Auger ha rivelato un milione di raggi cosmici, poche decine dei quali con una energia superiore a qualche decina di EeV. Ponendo la soglia a 57 EeV, energia alla quale ci si aspetta che il flusso della radiazione che arriva alla Terra sia ridotto a metà dall'effetto GZK, rimangono 27 fotoni. Sono tanti? Sono pochi? Visto che i numeri sono più grandi di quelli disponibili prima dell'entrata in funzione dell'Auger, è immediato intuire che queste poche decine di particelle rappresentano già un bel passo avanti.

Come fare a capire quale classe di oggetti celesti potrebbe essere responsabile dell'accelerazione di questi super-raggi cosmici? Visto che siamo convinti che siano extragalattici, è naturale concentrarsi sulle galassie attive più vicine. Si tratta di oggetti che, attraverso i getti dei loro buchi neri supermassicci, sono potenzialmente capaci di accelerare le particelle a energie elevatissime e, nel contempo, sono abbastanza vicini da mantenere bassa la probabilità di interazione tra i raggi cosmici e il fondo a microonde. Occorre dunque fare una correlazione incrociata tra le direzioni di arrivo dei raggi cosmici super-energetici e un catalogo di galassie attive selezionate sulla base della loro distanza. Provando a correlare le posizioni delle galassie attive con quelle dei raggi cosmici di diversa energia si scopre che la correlazione diventa forte solo per le energie maggiori 50 EeV e per distanze delle galassie non superiori a 300 milioni di anni luce. Per raggi cosmici con energie inferiori e per galassie più distanti la correlazione si perde.

La correlazione migliore si ottiene dall'energia di 57 EeV a salire e per una distanza massima di 250 milioni di anni luce, valore che restringe il catalogo delle galassie attive a 472 oggetti, 318 dei quali sono stati coperti dal campo di vista dello strumento.

Uno sguardo alla figura che riporta la distribuzione delle direzioni di arrivo dei

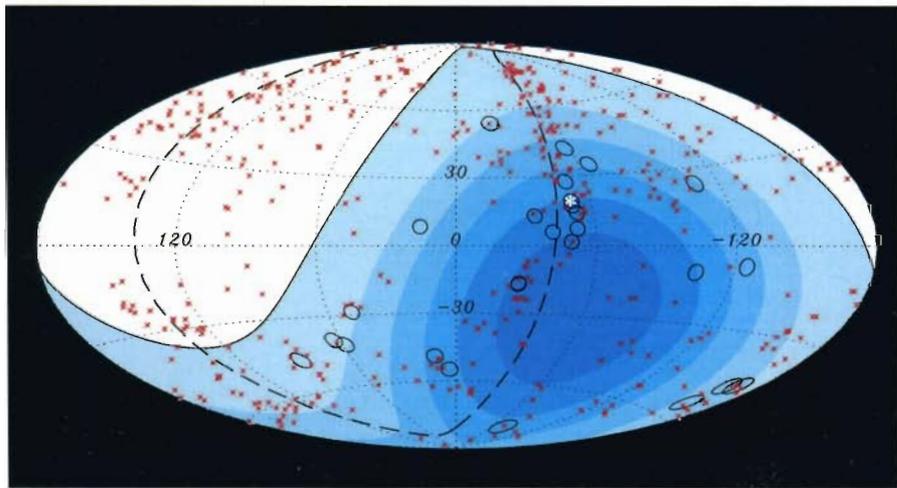
“magnifici 27” in coordinate galattiche, ci mostra che 20 dei 27 raggi cosmici cadono a meno di 3° dalla posizione di una delle 318 possibili galassie. Il numero di coincidenze casuali, aspettate solo tenendo conto degli scherzi della statistica, è 5, un valore decisamente inferiore di quello trovato; ciò che induce gli autori dell'analisi a dire che c'è una probabilità del 99% che i raggi cosmici di altissima energia siano proprio correlati con le galassie attive vicine. Ovviamente, questo non significa che i raggi cosmici provengano proprio dalle galassie attive vicine: significa solo che sarebbero prodotti da una popolazione di sorgenti distribuita come tali galassie. Una probabilità del 99% può sembrare molto alta ma, purtroppo, non è un valore elevatissimo. Resta sempre una probabilità dell'1% che si stia sbagliando. Sarà proprio l'effetto GZK, oppure un perverso scherzo della statistica?

La pubblicazione dei risultati dell'Auger ha già fatto nascere polemiche con gli esperimenti concorrenti, che dicono di non vedere alcuna correlazione. I 13 eventi rivelati da HiRes, un esperimento di minori dimensioni che opera nell'emisfero nord, vicino a Salt Lake City, analizzati utilizzando gli stessi parametri che ottimizzano la correlazione dell'Auger, non mostrano correlazioni con la posizione delle galassie attive. Solo 2 dei 13 eventi provengono da direzioni a meno di 3° dalla posizione di una delle galassie del catalogo degli oggetti vicini.

I diversi risultati potrebbero dipendere dai diversi metodi utilizzati dai due gruppi per stimare l'energia dei raggi cosmici. Visto che la correlazione è molto sensibile all'energia dei raggi cosmici, utilizzare tecniche che assegnano energia diversa a raggi cosmici simili potrebbe causare risultati contraddittori. Ovviamente, è impossibile parlare di calibrazione incrociata degli esperimenti, visto che un raggio cosmico che colpisce lo Utah non colpisce la pampa argentina, e viceversa.

Non resta che aspettare: tra un anno l'Auger, che ora funziona a pieno regime, avrà raddoppiato il suo bottino di raggi cosmici e sarà in grado di dare una risposta più precisa.

Patrizia Caraveo, INAF-IASF Milano



Distribuzione dei 27 raggi cosmici di più alta energia (cerchi) rivelati dall'Auger su una mappa in coordinate galattiche insieme alla selezione di galassie attive vicine (asterischi) con le quali è stata fatta la correlazione incrociata. La regione azzurra indica il campo di vista dello strumento. L'asterisco bianco segna la posizione di Centaurus A, la galassia attiva più vicina.