

Il cielo inquieto

Il volto gamma del nostro Universo.

di Francesco Longo



a.

Agli albori della fisica delle particelle e sino agli anni '50, i fisici erano impegnati ad analizzare la radiazione cosmica. Arrivarono presto i primi risultati e le prime scoperte scientifiche. Lo studio delle particelle elementari prese le sembianze di una vera e propria impresa su cui investire fondi, risorse umane e soprattutto tempo. Nella stretta connessione tra la fisica fondamentale e la realizzazione delle macchine acceleratrici, il successo non si fece attendere. Tuttavia le limitazioni sperimentali nella realizzazione di acceleratori di particelle a energie sempre più elevate, ha reso di nuovo attuale lo studio dei raggi cosmici. Alle altissime energie, l'astrofisica particellare è pronta a raccogliere il testimone della fisica delle particelle.

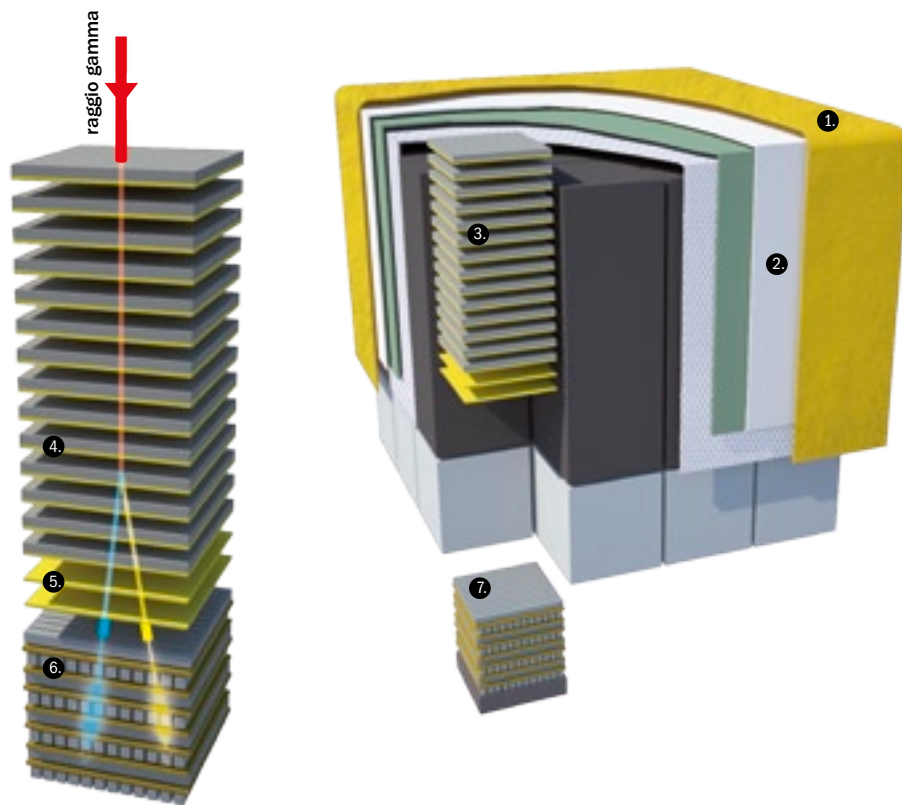
Per proseguire in questa impresa, alcune domande sono cruciali. Quali sono le macchine acceleratrici che la natura utilizza per produrre particelle di così elevata energia? Da quali regioni dell'Universo essi provengono? Quale il meccanismo fisico con cui le sorgenti celesti sono in grado di accelerare tale radiazione? Dove puntare gli strumenti osservativi in volo e da terra?

Una diretta conseguenza dei meccanismi di accelerazione all'opera in tali sorgenti è la generazione di radiazione elettromagnetica alle alte energie, nella frequenza X e gamma (fino a 100 GeV cioè miliardi di elettronVolt). La radiazione a queste frequenze è rivelabile solo grazie a osservazioni da parte di esperimenti satellitari. E spesso il successo di queste missioni è dovuto anche all'uso di rivelatori e tecnologie che hanno messo a frutto l'esperienza nata con la fisica delle particelle. Molte sono attualmente le missioni che si occupano dello studio degli acceleratori cosmici. Nella banda dei raggi X, ad esempio, il telescopio satellitare della Nasa, Swift è dedicato all'osservazione dei lampi di raggi gamma, o gamma ray burst (Grb): fenomeno enigmatico e molto sfuggente, forse il segnale della nascita di un buco nero dalla morte di una stella massiva oppure l'evento finale della fusione di due stelle di neutroni. L'asso nella manica di questo satellite è la rapidità di puntamento: dopo aver rilevato il segnale in banda gamma, localizza in tempi molto rapidi il Grb e si ripunta autonomamente nella direzione della sorgente, osservandola in banda X e nell'ottico.

Il satellite Agile dell'Agenzia Spaziale Italiana, lanciato nell'aprile del 2007, cui partecipano fisici e astrofisici dell'Infn e dell'Inaf, è dotato anche di uno strumento in grado di osservare la radiazione X da circa ventimila elettronVolt (20 keV) sino a sessantamila elettronVolt (60 keV). Esso permette di localizzare in modo preciso i Grb e le sorgenti celesti, spesso variabili, che emettono in banda X. La localizzazione degli eventi transienti è spesso l'informazione cruciale per determinarne la natura e l'origine. È solo grazie a questa informazione che i telescopi in altre bande possono osservare il cielo nella direzione indicata e vedere le sorgenti celesti rivelate dai satelliti. È stato questo, una

a.

Il lancio del satellite dell'esperimento Fermi dal Kennedy Space Center di Cape Canaveral, nel giugno del 2008.



b.

b. Schema del Lat, *Large Area Telescope*, il rivelatore di raggi gamma di alta energia, collocato a bordo del satellite Fermi.

1. Scudo termico

Riveste l'intera struttura e costituisce la coperta termica e lo scudo di protezione dalle micrometeoriti che potrebbero colpire e danneggiare lo strumento.

2. Rivelatori di anticoincidenza

Uno strato di rivelatori a scintillazione segnala l'ingresso di particelle cariche e le distingue dai raggi gamma.

3. Tracciatore

È un apparato in grado di ricostruire con grande precisione la traiettoria delle particelle cariche. È costituito da strati alternati di tungsteno e di rivelatori al silicio.

4. Lastra di tungsteno

All'interno un raggio gamma di energia superiore a un milione di elettronvolt crea due particelle, un elettrone e un antielettrone.

5. Rivelatori di silicio

Determinano la traiettoria delle due particelle prodotte dall'interazione del fotone con la lastra di tungsteno.

6. Calorimetro elettromagnetico

Misura l'energia depositata dalle due particelle, elettrone e antielettrone.

7. Barre di scintillatore

All'interno di 8 strati di barrette di ioduro di cesio, ad orientamento alternato, elettrone ed antielettrone producono due sciame elettromagnetici, con emissione di luce di scintillazione, misurando la quale si risale all'energia delle due particelle.

Le misure di energia dell'elettrone e dell'antielettrone, assieme alle loro traiettorie misurate dal tracciatore, permettono di ricavare l'energia e la direzione del raggio gamma incidente.

decina di anni fa, il passo decisivo nella determinazione dell'origine dei Grb. Il satellite italo-olandese *BeppoSax*, intitolato al grande fisico italiano Giuseppe Occhialini (detto Beppo), è stato in grado infatti di localizzare già nel 1997 la controparte X di un Grb permettendo ai telescopi ottici di determinarne la distanza. Nonostante questo, dopo quarant'anni di indagini e supposizioni sui gamma ray burst, le domande aperte sono tuttavia ancora molte. Alcune di queste riguardano l'emissione ad alta energia. Il 10 maggio del 2009, uno stesso Grb, ad esempio, è stato osservato per la prima volta da *Agile* e *Fermi*, entrambi i satelliti in banda gamma realizzati con il contributo fondamentale dei fisici dell'Infn. Questo Grb è stato forse prodotto dalle particelle accelerate dalle instabilità di getti di plasma di elettroni e positroni in moto a velocità prossime a quella della luce.

All'opera vi è probabilmente la versione relativistica del meccanismo proposto da Fermi, per spiegare come una particella elementare viene accelerata dall'interazione con un'onda d'urto massiva in moto: esattamente quello che succede nelle principali sorgenti astrofisiche sotto indagine dai satelliti gamma. E nel nome dato al telescopio Fermi si vuole proprio riconoscere al grande fisico l'importanza della teoria che formulò nel 1949 per individuare un meccanismo in grado di accelerare le particelle elementari nelle sorgenti cosmiche. Entrambi i satelliti in grado di osservare radiazione gamma, *Agile* e *Fermi*, sono strumenti basati sul meccanismo di rivelazione di fotoni per mezzo della produzione di coppie elettrone-antielettrone. Il fotone, che deve arrivare con energia superiore alla decina di MeV, interagisce con gli strati di materiale a elevato numero atomico e produce una coppia elettrone/positrone, di cui si ricostruisce la traccia con un tracciatore al silicio e si stima l'energia con un calorimetro elettromagnetico (fig. b). I due telescopi sono interessati anche ad altri oggetti celesti contraddistinti da emissione in banda gamma. Si tratta, per esempio, dei nuclei galattici attivi, che ospitano al loro interno un buco nero caratterizzato da una massa pari a miliardi di volte quella solare.

Anche la Via Lattea in banda gamma è una ricca fonte di informazioni. Si sono già osservati un sistema binario, alcuni resti di supernova, possibili sorgenti di raggi cosmici, e molte pulsar (stelle di neutroni, in rapida rotazione attorno al proprio asse, immerse in un elevato campo magnetico), di cui alcune sono state scoperte solo grazie alla loro emissione gamma. Sono invece le interazioni dei raggi cosmici a produrre i raggi gamma provenienti dal Sole, dall'atmosfera terrestre e dalla stessa Via Lattea. Lo stesso meccanismo è certamente all'opera anche in altre galassie. In particolare per la



c.
La coppia di telescopi per raggi gamma Magic I e Magic II, installati sull'isola La Palma nell'arcipelago delle Canarie.

c.

prima volta è stato possibile distinguere in modo preciso una sorgente di raggi gamma all'interno di una galassia che non sia la Via Lattea. È il caso della sorgente rivelata da Fermi nella Grande Nube di Magellano. Essa è coincidente con una zona di alta formazione stellare dove si pensa siano presenti molte stelle massive, diversi resti di supernova e pertanto un alto tasso di formazione di raggi cosmici.

Ora l'attesa si fa trepidante. È previsto infatti che il prossimo massimo di attività solare, nel 2012, sia accompagnato da un certo numero di brillamenti solari, di cui si conosce ancora poco in banda gamma. Nel prossimo futuro si spera inoltre di riuscire a percepire il segnale gamma dovuto all'annichilazione della materia oscura come previsto da diversi modelli teorici. Gli strumenti su satellite non sono però in grado di rivelare il debole flusso di raggi gamma di energia superiore a diverse centinaia di GeV. A queste energie i raggi gamma interagiscono con l'atmosfera e sciamano producendo particelle secondarie di velocità maggiori di quella della luce nell'aria, i cui effetti sono osservabili da parte di opportuni telescopi, come Magic. I suoi specchi e la sofisticata elettronica

di lettura, messi a punto con il contributo decisivo dei fisici dell'Infn, consentono di vedere il segnale ottico di pochi nanosecondi che tali particelle causano, detto luce Cherenkov. La grande area degli specchi fa di Magic il telescopio gamma da terra dotato della soglia di rivelazione più bassa in energia (attualmente attorno a 50 GeV). Dalla scorsa primavera è dotato di un telescopio gemello. Grazie a Magic II, gli sciami elettromagnetici verranno osservati in stereo. Questa possibilità aumenta la sensibilità del telescopio, riducendo il fondo degli altri segnali prodotti dai raggi cosmici. Magic ha visto diverse classi di sorgenti in grado di produrre fotoni con energia sino a qualche TeV. Tra le scoperte più importanti vi sono la rivelazione per la prima volta di un segnale pulsato ad alta energia dalla pulsar nella Nebulosa del Granchio e la rivelazione dell'emissione gamma del più distante nucleo galattico attivo sinora mai osservato a tali energie.

Aumentando la sensibilità degli strumenti da terra e in cielo e migliorando le tecniche osservative, il successo può essere alle porte. Questi straordinari acceleratori cosmici sveleranno i misteri dell'universo violento alle altissime energie.

Biografia

Francesco Longo collabora agli esperimenti Agile, Fermi Lat e Magic. È coordinatore del gruppo di studio delle sorgenti nel sistema solare per il rivelatore Lat di Fermi e per lo studio delle sorgenti galattiche nell'esperimento Agile. Per tutti e tre gli esperimenti si occupa di gamma ray burst.

Link sul web

<http://swift.gsfc.nasa.gov/docs/swift/swiftsc.html>

<http://agile.asdc.asi.it/>

<http://agile.iasf-roma.inaf.it/>

www-glast.stanford.edu/,

<http://fermi.gsfc.nasa.gov>

<http://glast.pi.infn.it/>

<http://magic.mppmu.mpg.de/>