

RADIAZIONE GAMMA

Messaggi dal "fondo"

Tutte le stelle che hanno brillato in qualsiasi punto dell'universo, in qualsiasi istante della sua lunga storia hanno dato il loro contributo alla radiazione di fondo del cielo. Questa emissione spalmata su tutto il cielo è presente, seppure in misura diversa, a tutte le lunghezze d'onda. La radiazione di fondo più nota è il rumore residuo del Big Bang che ha segnato l'inizio dell'universo e che oggi riveliamo come radiazione termica alla temperatura "frescolina" di poco meno di 3 K. Ma il CMB (*Cosmic Microwave Background*) è solo una parte della storia: il cielo è pervaso da una radiazione diffusa che viene rivelata in aggiunta alle sorgenti puntiformi. Quando, 50 anni fa, il gruppo di Rossi e Giacconi rivelò Scorpius X1 (SCO X1), la prima sorgente di raggi X al di fuori del Sistema Solare, venne subito notato che, anche lontano dalla sorgente, l'emissione X non andava mai a zero, segno che doveva essere presente un bagliore diffuso. Nacque subito la domanda circa la natura di questa emissione: somma di sorgenti troppo deboli per essere risolte una per una, oppure emissione veramente diffusa da gas caldo in ammassi o super ammassi? Per poter cercare di dare una risposta occorre ripercorrere la storia di ognuna delle sorgenti che possono avere contribuito seguendo l'evoluzione di ciascuna, ovviamente considerando anche le sorgenti che hanno brillato agli albori dell'universo e ora sono ormai esaurite. Tenere conto delle prime popolazioni di stelle che si sono accese dopo il Big Bang è molto difficile perché noi sappiamo pochissimo su questi astri che devono aspettare il grande specchio del James Webb Space Telescope (JWST) per poter essere

rivelati direttamente (v. *le Stelle* n. 95, pp. 38-45). Abbiamo però visto la spettacolare fine della loro esistenza grazie al telescopio SWIFT che ha rivelato i lampi gamma prodotti dall'esplosione di supernovae avvenute poche centinaia di milioni di anni dopo il Big Bang.

Eppure la luce prodotta da queste stelle misteriose è tutta contenuta nell'emissione di fondo del cielo che è uno straordinario compendio della storia del nostro universo: una risorsa preziosa ma non facilissima da usare.

Misurare accuratamente un'emissione diffusa su tutta la volta celeste è molto difficile. Dopo essere riusciti a sottrarre tutte le sorgenti, occorre riconoscere e correggere tutti gli effetti a grande scala dovuti al Sistema Solare, al nostro vicinato galattico, alla nostra Galassia, al Gruppo Locale e agli strumenti con i quali vengono effettuate le misure.

Davanti a un compito così complesso, a volte può essere utile procedere al contrario e cercare di misurare l'entità di questo campo di radiazione attraverso l'effetto che ha sull'emissione di lontane galassie, la luce delle quali deve attraversare vasti spazi prima di raggiungerci. In questo modo non si misura la radiazione di fondo ma la sua impronta e, a seconda della profondità dell'impronta, si stima l'entità del fondo.

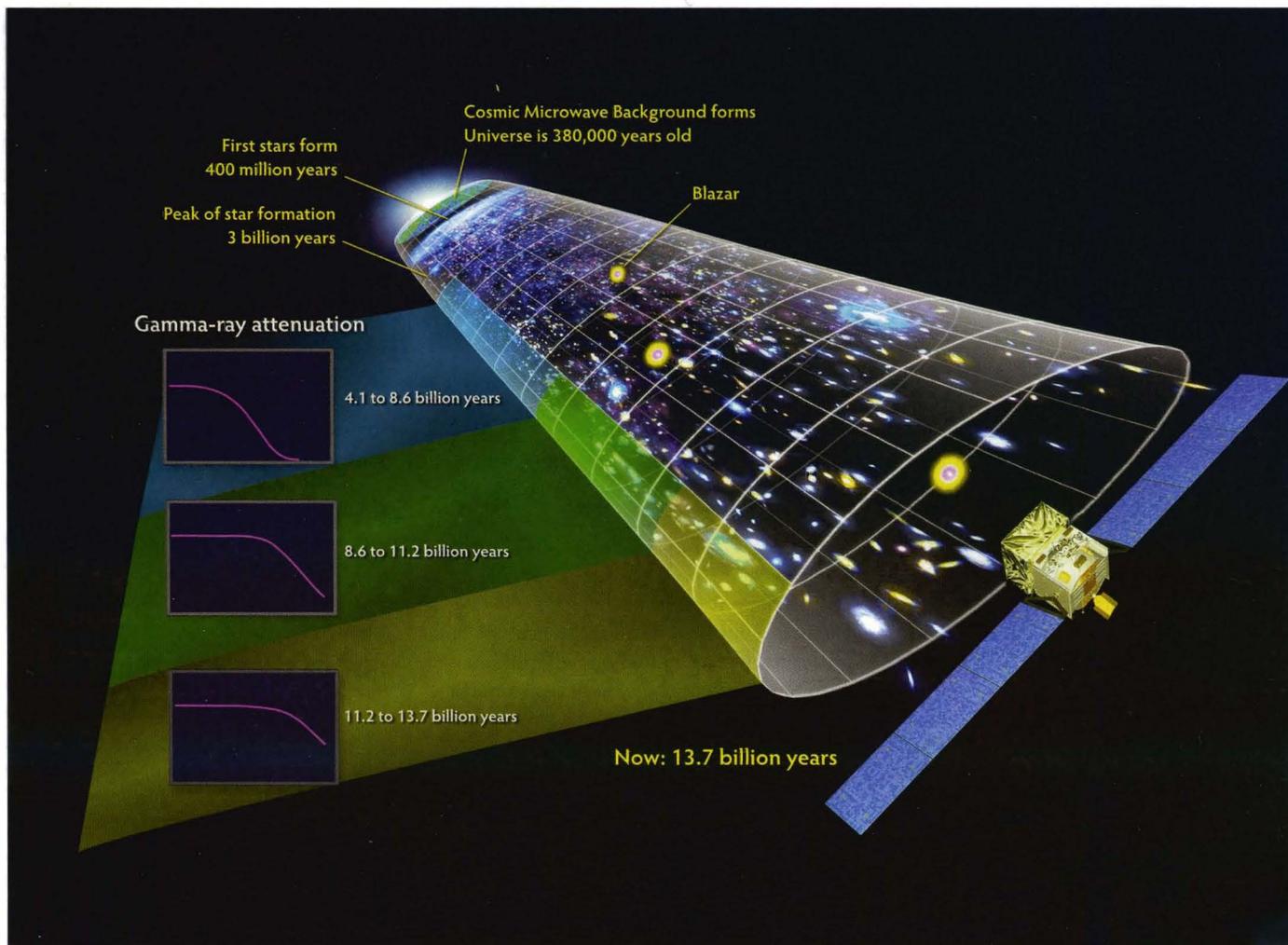
Che tipo di "impronta" possiamo cercare? Cosa può modificare lungo la strada la radiazione emessa da una lontana galassia? Si tratta di un effetto di fisica quantistica che prende il nome di interazione fotone-fotone. Sappiamo che quando una particella e la sua antiparticella si incontrano si annichilano e la loro massa viene trasformata in due fotoni gamma, la famosa riga

Grazie all'interazione fotone-fotone è possibile misurare la densità di fotoni ottici e ultravioletti prodotti dalle stelle che si sono succedute in diverse generazioni dall'inizio dell'universo e che è molto difficile misurare direttamente



Patrizia Caraveo

È Direttore dell'Istituto di Astrofisica Spaziale dell'INAF a Milano. Si occupa da sempre di astrofisica X e gamma e per i contributi dati alla comprensione dell'emissione di alta energia delle stelle di neutroni, nel 2009 è stata insignita del Premio Nazionale del Presidente della Repubblica.



L'assorbimento fotone-fotone diventa tanto più importante quanto maggiore è la distanza da attraversare, quindi sorgenti più distanti saranno più assorbite di sorgenti vicine.

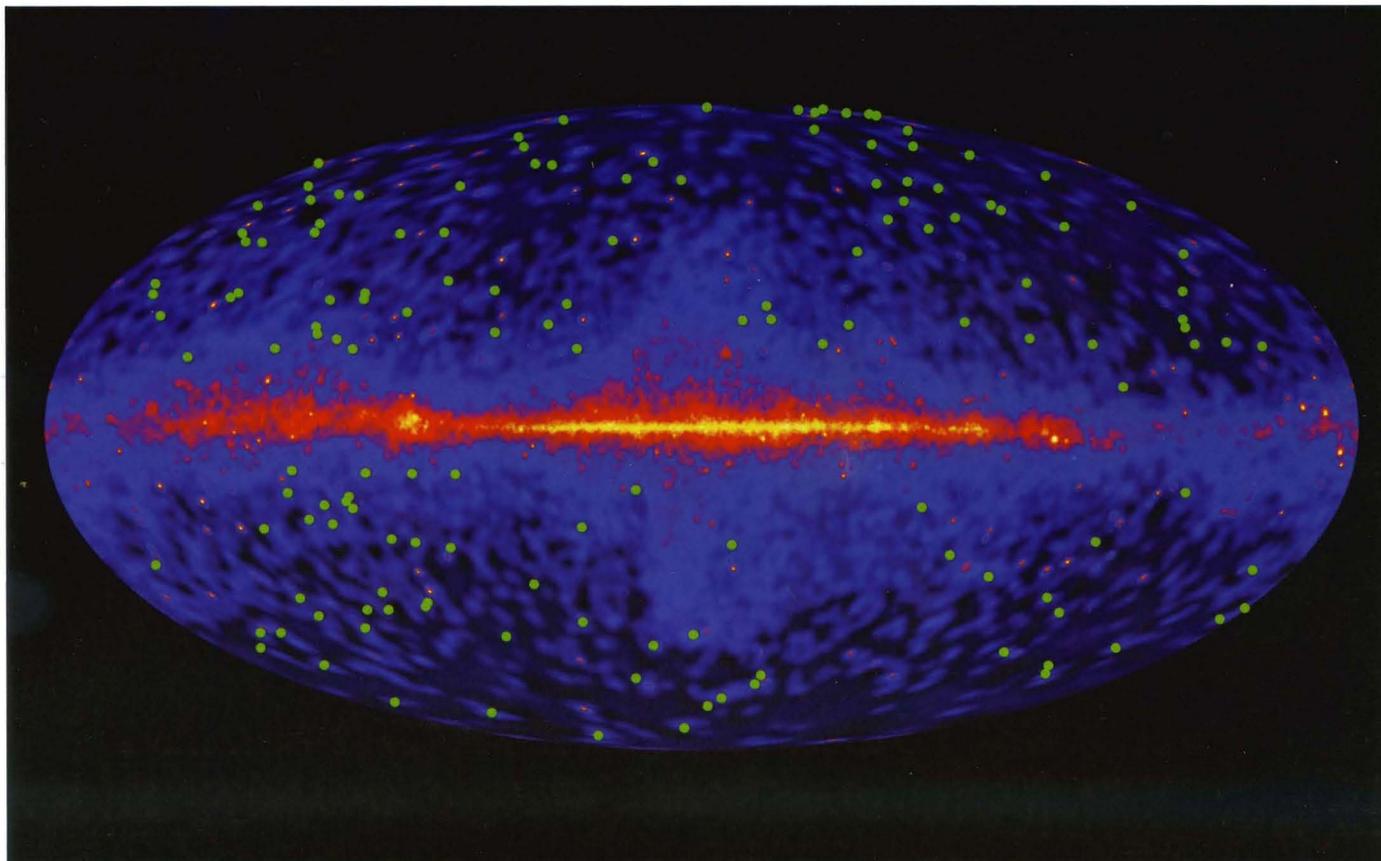
a 511 keV, tanto amata dagli astrofisici. In natura può anche avvenire l'inverso: la collisione di due fotoni può dare origine a una coppia elettrone-positrone. Ovviamente, perché questo possa avvenire i fotoni devono avere energie tali che la loro combinazione dia almeno la massa delle due particelle che devono essere materializzate. L'effetto ha un massimo quando la combinazione dell'energia dei due fotoni è pari al quadrato della massa dell'elettrone. L'assorbimento fotone-fotone lavora su una vasta gamma di energie e tanto più è alta l'energia del fotone viaggiatore, tanto può essere bassa l'energia del fotone killer della radiazione di fondo.

Per ironia del destino, i fotoni di energia più alta prodotti dalle galassie, i gamma di altissima energia, vengono assorbiti dai

fotoni della radiazione a 3 K, i meno energetici disponibili sul mercato. Il fatto che siano poco energetici non significa affatto che siano benigni: sono molto numerosi e non lasciano scampo ai poveri fotoni super energetici che vengono assorbiti e trasformati in particelle. È veramente un effetto sorprendente. In condizioni normali, i fotoni gamma di alta energia sono estremamente penetranti. Quasi nulla riesce a fermarli. Invece, l'incontro con un altro fotone di energia ben determinata li distrugge entrambi e crea una coppia di particella-antiparticella, un elettrone e un positrone. L'energia dei fotoni viene trasformata nella massa della coppia di particelle. Mentre l'energia totale, prima e dopo la trasformazione, viene ovviamente conservata, questo effetto (che si chiama

assorbimento fotone-fotone) fa diminuire il numero dei fotoni gamma che arrivano ai nostri strumenti. L'assorbimento diventa tanto più importante quanto maggiore è la distanza da attraversare; quindi sorgenti più distanti saranno più assorbite di sorgenti vicine. Gli spettri delle sorgenti vengono "smangiati" e, al limite, diventa impossibile vedere sorgenti di altissima energia al di là di una certa distanza.

Al diminuire dell'energia dei fotoni emessi dagli oggetti celesti, aumenta l'energia dei potenziali fotoni killer del fondo. La fisica ci dice che i fotoni gamma rivelati dal telescopio Fermi vengono distrutti da incontri con fotoni ottici e ultravioletti. È una regione dello spettro sulla quale sappiamo molto meno che sul rumore



La posizione dei *blazars* usati nella ricerca descritta nel testo.

radio e ogni informazione aggiuntiva sarebbe benvenuta. Visto che, in ogni caso, l'entità dell'assorbimento sarà proporzionale al numero di fotoni della giusta energia incontrati sul cammino dal nostro fotone gamma viaggiatore, una buona stima dell'assorbimento fotone-fotone potrebbe fornire un'idea della densità dei fotoni killer del fondo diffuso ottico e ultravioletto.

Se nello spazio intergalattico ci sono pochi fotoni killer, anche l'assorbimento sarà modesto. Uno spazio pieno di fotoni, invece, provocherà un assorbimento più marcato. Questo metodo permette quindi di stimare, anche se in modo indiretto, la densità di fotoni ottici e ultravioletti, quelli prodotti dalle stelle che si sono succedute in diverse generazioni dall'inizio dell'universo e che gli astronomi fanno molta fatica a misurare direttamente. L'effetto di assorbimento è difficile da rivelare nelle singole sorgenti, quello che bisogna fare è utilizzarne a decine e cercare effetti cumulativi. Ecco perché il me-

todo è stato applicato con successo ai dati del LAT (*Large Area Telescope*) a bordo di Fermi che è una macchina molto efficace per rivelare una particolare famiglia di nuclei galattici attivi che prende il nome di *blazar* (v. "le Stelle" n. 67, pp. 34-38). Il secondo catalogo delle sorgenti Fermi ne contiene più di 1000 e il numero continua a salire, man mano che quelle non identificate vengono riconosciute come *blazars*.

La disponibilità di un così gran numero di sorgenti a distanze cosmologiche ha fornito la materia prima per stimare la quantità di luce prodotta dalle prime stelle misurando il tasso di sopravvivenza dei fotoni gamma dei lontani *blazar* nel lungo cammino che li porta fino a noi.

Non che misurare l'effetto in gamma sia propriamente una passeggiata. Come dicevamo, l'assorbimento fotone-fotone, ossia lo smangiamento dello spettro, non è misurabile sul singolo oggetto celeste. È necessario selezionare dozzine di sorgenti gamma, avendo cura di scegliere oggetti

celesti dello stesso tipo (quindi con uno spettro intrinsecamente simile) dividendoli poi per classi di distanza, e cercare di impilare gli spettri in modo da sommare l'effetto e renderlo apprezzabile. Per fortuna Fermi ha rivelato più di 1000 sorgenti extragalattiche, quindi non è stato difficile trovare 150 galassie attive dello stesso tipo ma sparse su distanze cosmiche molto diverse da utilizzare per fare il test.

La procedura di "impilamento" degli spettri ha funzionato e, mentre gli oggetti vicini mostrano un assorbimento modesto, quelli più lontani sono decisamente più assorbiti.

In ogni caso, però, la densità dei fotoni killer è attestata intorno ai valori minimi che si erano ipotizzati fino ad ora. Un'osservazione che può essere utilizzata per mettere dei limiti al numero di stelle che si sono formate all'inizio dell'universo, stelle che i nostri strumenti non sono ancora in grado di rivelare direttamente ma delle quali possiamo vedere l'impronta. ■