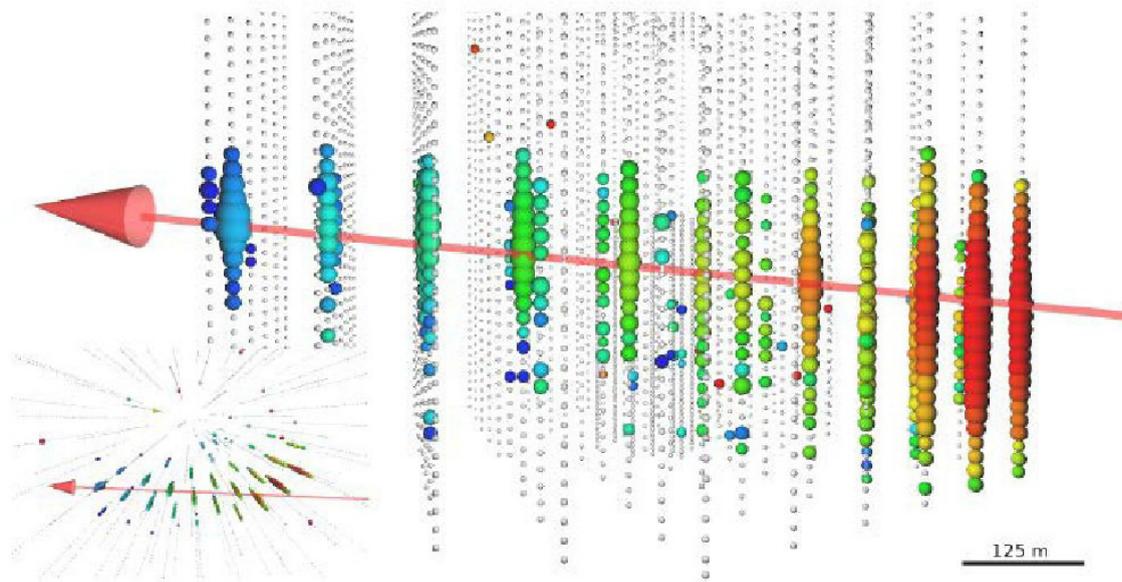


UN ALTRO SUCCESSO DELL'ASTRONOMIA MULTIMESSAGGERO: NEUTRINI E FOTONI DA UNA GALASSIA ATTIVA

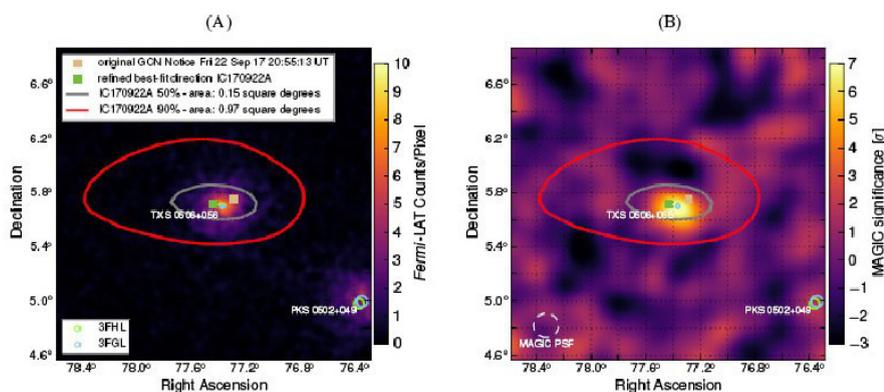
► PATRIZIA CARAVEO



Individuata per la prima volta la probabile sorgente di un neutrino cosmico grazie alla coincidenza posizionale della direzione di arrivo del neutrino IC-170922A con TXS 0506+056, una sorgente variabile di raggi gamma di altissima energia. Si tratta di un blazar, una galassia attiva dominata da un buco nero supermassiccio. Si è arrivati a questo importante risultato combinando i dati del rivelatore di neutrini *IceCube* con quelli di altri 15 telescopi ottici, radio X e gamma, a terra e nello spazio. Era il 22 settembre 2017 quando il rivelatore di neutrini *IceCube* osservava un interessante neutrino, battezzato poi IC-170922A. Interessante perché la sua energia molto elevata, pari a 290 TeV (TeraelettronVolt, mille miliardi di elettronvolt, quindi mille miliardi più energetico dei fotoni della luce visibile), indicava, con ogni probabilità, che era stato originato da un lontano oggetto celeste molto “attivo” (i neutrini di energia più bassa sono invece prodotti da interazione dei raggi cosmici con l’atmosfera e non sono interessanti dal punto di vista astronomico). Poiché i processi alla base dell’emissione di neutrini cosmici producono sempre anche raggi gamma, quando *IceCube* ha visto IC-170922A ha subito lanciato un “allerta neutrino” a tutti i telescopi,

▲ Ricostruzione della direzione d’arrivo del neutrino IC-170922A a partire dai dati di *IceCube*. Le dimensioni dei pallini sono proporzionali all’intensità del segnale registrato dai singoli rivelatori mentre i diversi colori riflettono il tempo di arrivo. Prima sono stati registrati i rossi, poi i verdi, infine i blu per una durata totale dell’attraversamento di 4 microsecondi. La freccia rappresenta la ricostruzione della direzione d’arrivo del neutrino.

disseminati nello spazio e sulla Terra, nella speranza che le loro osservazioni potessero aiutare a individuarne con precisione la sorgente. Un grande sforzo organizzativo che, questa volta, ha dato il risultato sperato. L’osservatorio spaziale per raggi gamma Fermi, sfruttando i dati raccolti con il telescopio LAT, ha trovato un’emissione più brillante del solito che doveva provenire da una sorgente di raggi gamma che era in stato “eccitato”. Si tratta del blazar TXS 0506+056: un nucleo galattico attivo, cioè un buco nero supermassiccio al centro di una galassia che espelle un getto di materia relativistica. Fermi-LAT ha diramato subito l’allerta e ha dato la “sveglia” ad altri osservatori a terra e nello spazio. Il satellite italiano AGILE ha confermato la presenza di una sorgente gamma variabile. Poi è stata la volta dei telescopi MAGIC che, dall’isola di La Pal-



▲ Immagine del cielo gamma visto da Fermi LAT (a sinistra) e da MAGIC (a destra). Le ellissi grigia e rossa rappresentano l'area di incertezza della ricostruzione della direzione di arrivo del neutrino (rispettivamente al 50% e 90%) che è rappresentata dal quadratino verde (il quadratino giallo è la posizione comunicata a caldo nel telegramma astronomico con l'allerta neutrino). Il cerchietto verde è invece la posizione della sorgente del catalogo Fermi che coincide con TXS 0506+056.

ma, studiano i raggi gamma attraverso la radiazione Čerenkov prodotta dall'interazione dei fotoni gamma celesti con l'atmosfera terrestre. I telescopi MAGIC hanno orientato i loro giganteschi specchi per puntare TXS 0506+056 riuscendo, con 12 ore di osservazione, a rivelare la sorgente fino a un'energia mille volte maggiore di quella di Fermi, fornendo così un contributo importante ai fini di questa scoperta.

Tra gli esperimenti protagonisti della caccia alla sorgente del neutrino ci sono anche Swift, che ha seguito il comportamento della sorgente "eccitata", e INTEGRAL, che non ha visto la sorgente ma ha fornito un limite superiore alla sua intensità, permettendo agli scienziati di escludere che il neutrino fosse associato a un lampo di raggi gamma (GRB, *Gamma Ray Burst*). Grazie alla combinazione di tutte le diverse osservazioni è stato così possibile individuare proprio nel blazar TXS 0506+056, che si trova al cuore di una galassia posta a una distanza di 4,5 miliardi di anni luce dalla Terra, la probabile sorgente del neutrino. In effetti, nessuno aveva prestato molta attenzione a questa galassia che è una delle migliaia di galassie attive catalogate sulla base della loro emissione radio. A seguito della sua associazione al neutrino gli astronomi ottici hanno misurato il suo *redshift* per riuscire a stimarne la distanza.

A differenza di quanto abbiamo visto nell'agosto del 2017 con la scoperta della controparte elettromagnetica dell'evento gravitazionale (*v. "le Stelle" n. 173, pp. 4-11*), dove l'identificazione della sorgente si basava su una coincidenza temporale molto stretta tra il segnale gravitazionale e quello elettromagnetico, l'associazione fra il neutrino di *IceCube* e la sorgente TXS 0506+056 si fonda sulla coincidenza di posizione tra la direzione di arrivo del neutrino, misurata con un'incertezza di un decimo di grado, e la posizione del blazar. Molto lavoro è stato dedicato a stimare l'affidabilità di questa associazione la cui robustezza è stata calcolata basandosi sui dati Fermi-LAT. In un cielo gamma affollato da oltre 5000 sorgenti, qualsiasi coincidenza

spaziale va valutata con grande attenzione dal momento che la probabilità che il neutrino di *IceCube* fosse casualmente sovrapposto a una di queste sorgenti non era per nulla trascurabile. Per poter associare IC-170922A con la sorgente TXS 0506+056, il team di Fermi-LAT ha dovuto riprodurre l'intero cielo gamma e studiarne la variabilità arrivando a valutare la probabilità di una coincidenza spaziale spuria a meno dell'1%. Un ulteriore indizio viene dall'osservazione da parte di MAGIC dei fotoni gamma ad energie prossime a quelle del neutrino rivelato da *IceCube*. Questo rende l'associazione spaziale ancora più convin-

cente e permette di avere un quadro più chiaro sull'origine di entrambe le emissioni.

Le osservazioni di onde radio e di raggi gamma del blazar TXS 0506+056 ci dicono che il getto, alimentato dalla materia espulsa dal disco di accrescimento del buco nero, è proprio la regione in cui vengono accelerate particelle di alta energia. Il legame tra emissione radio e gamma punta ad una popolazione di elettroni (e positroni) di alta energia. Tuttavia, è ragionevole pensare che i getti contengano anche protoni, essi pure capaci di produrre raggi gamma insieme agli inimitabili neutrini di alta energia.

Grazie all'osservazione di un neutrino molto energetico, possiamo quindi concludere che, oltre agli elettroni (e ai positroni), nel getto ci sono sicuramente anche protoni accelerati. Possiamo, inoltre, affermare che per produrre il neutrino osservato questi protoni sono a loro volta sicuramente di energia estremamente elevata. Questa osservazione è frutto del lavoro "corale" dell'astronomia multimessaggero e, oltre ad avere una valenza propria perché associa un neutrino con un corpo celeste, ha fornito anche un solido indizio verso la risoluzione di uno dei maggiori misteri ancora irrisolti: l'origine dei raggi cosmici di altissima energia. I raggi cosmici sono, infatti, composti prevalentemente da protoni, particelle elettricamente cariche che vengono deviate dai campi magnetici che permeano lo spazio, impedendoci di risalire alle sorgenti dalle quali hanno avuto origine. Un aiuto a chiarire questo mistero, che dura da oltre 100 anni, arriva dai neutrini che vengono prodotti proprio dai protoni di alta energia. Essendo particelle neutre e con massa piccolissima, i neutrini sono dei messaggeri perfetti, in grado di portarci dritti alla loro origine.

Testimoniando in maniera chiara la presenza di protoni accelerati, il neutrino IC-170922A ci permette di risolvere, in parte, il mistero rappresentato dai raggi cosmici di energie estreme. Questo bellissimo risultato conferma la strettissima connessione che lega i diversi messaggeri cosmici. ●