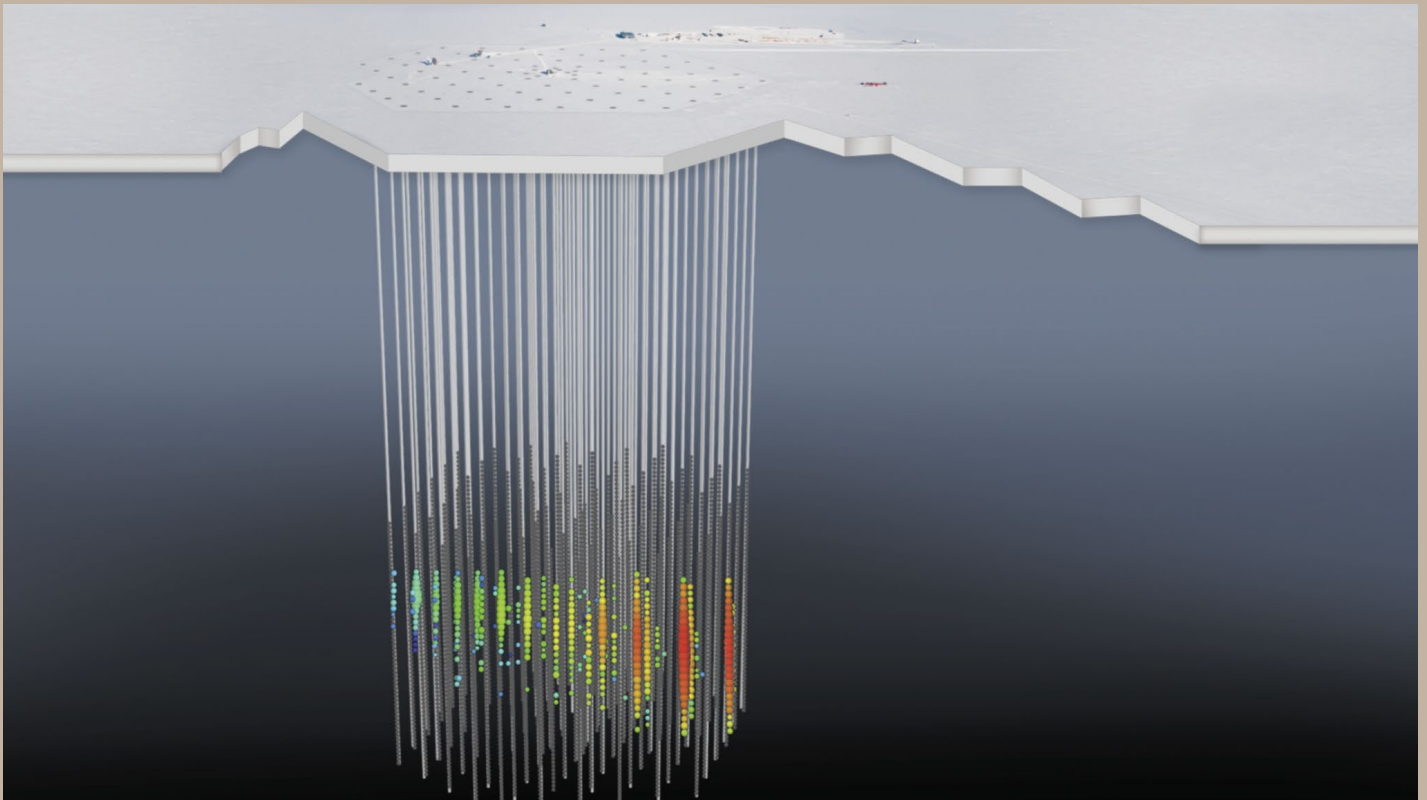


Neutrini negli abissi

Telescopi di ghiaccio e di acqua

di Piera Sapienza



Il 22 settembre 2017 IceCube, che nel 2013 aveva annunciato la scoperta dei neutrini cosmici, rivela un neutrino muonico di altissima energia (circa 290 TeV), catalogato come “evento IC170922”, e manda un’allerta con la direzione dell’evento a tutti i telescopi del globo. I telescopi Magic osservano raggi gamma di alta energia dal *blazar* TX506+056 in prossimità dell’evento. Seguono osservazioni correlate in altre lunghezze d’onda, nell’ambito radio, ottico e dei raggi X. L’evento IC170922, considerato il primo dell’astronomia con neutrini di alta energia, ha messo alla prova i diversi modelli teorici che descrivono i nuclei galattici attivi, cioè galassie con un buco nero

centrale attivo e getti ultrarelativistici che accelerano particelle ad altissima energia, tra cui i *blazar*, il cui getto è orientato verso di noi. La comprensione dell’universo estremo, sede di eventi cataclismatici, è una delle frontiere della scienza attuale. L’universo è però sostanzialmente opaco a fotoni di alta energia e le particelle cariche, emesse da acceleratori cosmici, non consentono di fare osservazioni astronomiche poiché sono deviate dai campi magnetici galattici ed extragalattici, che incontrano nel loro cammino verso di noi. I neutrini invece, essendo privi di carica, stabili e debolmente interagenti, possono attraversare pressoché indisturbati tutto

a. Un’immagine dei segnali di luce Cherenkov rivelati dai fotomoltiplicatori dell’esperimento IceCube (sotto i ghiacci del Polo Sud), che indicano il passaggio di un muone prodotto dall’interazione del neutrino di alta energia dell’evento IC170922 con il ghiaccio. I colori si riferiscono a tempi diversi di rivelazione della luce e ci dicono che il muone si muoveva da destra verso sinistra.

b.
Il laboratorio di IceCube,
presso la stazione
Amundsen-Scott South
Pole, nell'Antartico.

l'universo ed emergere dal cuore dei più potenti acceleratori cosmici trasportando informazioni sui meccanismi della loro produzione. L'astronomia alle altissime energie è quindi accessibile solo ai neutrini, particelle affascinanti ed elusive. Talmente elusive che l'esperimento IceCube, con un volume di rivelazione di un chilometro cubo, cattura appena una decina di neutrini cosmici l'anno.

La necessità di rivelatori di volumi di circa un chilometro cubo scaturisce da stime di flusso che sono state confermate dalle osservazioni. L'idea di utilizzare grandi volumi di mezzi naturali, come l'acqua marina o i ghiacci polari a grandi profondità, per rivelare i neutrini di alta energia è stata proposta negli anni '60. Il neutrino, interagendo con l'acqua o il ghiaccio, produce un muone (o un altro leptone carico a seconda del sapore del neutrino) che si propaga a velocità maggiore della velocità della luce nel mezzo, generando un cono di luce direzionale per effetto Cherenkov. La luce Cherenkov viene rivelata da una matrice tridimensionale di sensori ottici (fotomoltiplicatori) che consentono di misurare l'energia del neutrino e di risalire alla sua direzione di provenienza e quindi di individuarne la

sorgente. Il ghiaccio o l'acqua hanno una triplice funzione: fungono da bersaglio per l'interazione del neutrino, da radiatore Cherenkov e da schermo per i muoni atmosferici che provengono dall'alto e costituiscono la principale sorgente di rumore di fondo. Un paio di migliaia di metri di ghiaccio o acqua sovrastante il rivelatore riducono il flusso di muoni atmosferici di circa un milione di volte, facendo in modo che il rivelatore non ne sia accecato. I segnali di neutrini sono tuttavia talmente rari che nei telescopi si selezionano solo eventi di neutrini che provengono dall'emisfero opposto, utilizzando tutta la Terra, che può essere attraversata solo dai neutrini, come filtro. La rivelazione di segnali dall'emisfero opposto è necessaria per la identificazione dei neutrini muonici, che sono il canale privilegiato per l'astronomia. Per l'osservazione completa del cielo di neutrini sono necessari quindi due rivelatori di dimensione del chilometro cubo installati in emisferi opposti, in modo da assicurare una copertura totale. La realizzazione di telescopi per neutrini ad alta energia in ambienti estremamente ostili, come le profondità dei ghiacci polari o gli abissi marini, implica sfide tecnologiche considerevoli,





c. Un modulo di rivelazione dell'esperimento Km3net/Arca, in costruzione al largo di Capo Passero, in Sicilia, a 3500 metri di profondità.

a causa delle pressioni elevatissime e di problemi di corrosione e accessibilità. La progettazione di questi apparati sperimentali ha richiesto molti anni di ricerca e sviluppo e la costruzione e validazione di prototipi *in situ*. I rivelatori, che una volta installati devono essere operativi per tempi dell'ordine di 20 anni, non sono accessibili per riparazioni e manutenzioni, e pertanto è necessaria una elevatissima affidabilità, confrontabile con quella degli esperimenti spaziali. IceCube, operativo dal 2008 nella configurazione completa, è costituito da 86 colonne da 60 fotomoltiplicatori ognuna (per un totale di 5.160) e un volume di rivelazione di un chilometro cubo e, a oggi, è l'unico rivelatore al mondo ad aver rivelato neutrini cosmici. Antares, installato a 2500 metri di profondità al largo di Tolone e operativo dal 2008, è un telescopio dimostratore da 0,01 chilometri cubi costituito da circa 900 fotomoltiplicatori. Malgrado le piccole dimensioni è attualmente il presidio operativo nell'emisfero Nord per l'astronomia multimessaggera. L'astronomia con neutrini di alta energia muove i suoi primi passi e già suscita grandi aspettative nella comunità astrofisica. Nonostante l'eccezionale osservazione dell'evento IC170922,

l'origine dei neutrini cosmici è in larga misura ancora sconosciuta, in quanto le informazioni disponibili sono contrastanti. In particolare, esistono vincoli osservativi che indicano che l'emissione da *blazar* spiegherebbe solo una piccola frazione del flusso di neutrini cosmici osservato da IceCube.

La ricerca di sorgenti di neutrini e dell'origine dei raggi cosmici continua a essere fondamentale per la comprensione dell'universo di alta energia. Di estrema importanza è anche il monitoraggio su tutto il cielo di fenomeni transitori e in particolare di onde gravitazionali. È quindi sempre più evidente quanto sia importante disporre di un altro telescopio da un chilometro cubo nel Mar Mediterraneo con potenzialità simili o superiori a quelle di IceCube. L'astronomia con neutrini e infatti bisogno di rivelare più neutrini e

con maggiore precisione, e di allargare il campo di vista a tutto il cielo. Il telescopio Km3net/Arca, in fase di costruzione a 3500 metri di profondità, a 80 km al largo di Capo Passero, in Sicilia, avrà un volume dell'ordine del chilometro cubo, una sensibilità che eccederà quella di IceCube e vedrà l'87% del cielo, compreso il piano galattico e il centro galattico, solo marginalmente osservabili da IceCube. La grande lunghezza di diffusione della luce Cherenkov in acqua di mare rispetto al ghiaccio consentirà di ottenere un miglioramento della risoluzione angolare di un ordine di grandezza, spianando la strada all'identificazione delle sorgenti dei neutrini di altissima energia. Con Km3net, l'attuale IceCube e la sua versione futura possiamo appena immaginare quali progressi scientifici deriveranno dall'astronomia dei neutrini di altissima energia.

Biografia

Piera Sapienza è dirigente di ricerca ai Laboratori Nazionali del Sud dell'Infn. Ha lavorato in esperimenti di fisica nucleare in Francia, Germania e Italia. Dai primi anni 2000 lavora sulla fisica dei neutrini. È stata rappresentante Lns nei consigli internazionali di Km3net e Antares ed è responsabile dell'integrazione delle stringhe di Km3net ai Lns.

DOI: 10.23801/asimmetrie.2020.29.9