

L'astronomia del futuro sarà multi-messenger cioè potrà contare su più canali attraverso i quali raccogliere informazioni sugli oggetti celesti



**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 Presidente della Repubblica.

## I NEUTRINI una finestra sull'astronomia del futuro



Il laboratorio che controlla *IceCube* si staglia contro una spettacolare aurora australe.

Oltre al tradizionale canale elettromagnetico, che è da sempre il cavallo di battaglia degli astronomi che raccolgono la radiazione emessa dai corpi celesti con i più diversi tipi di telescopi, stiamo cominciando ad imparare ad utilizzare i neutrini e le onde gravitazionali, senza dimenticare i raggi cosmici. Questi nuovi "messaggeri" non sostituiscono la tradizionale astronomia elettromagnetica ma la integrano e la arricchiscono. Per sfruttare appieno i nuovi canali è necessaria una collaborazione stretta con l'astronomia classica. Ogni volta che viene rivelato un neutrino, per esempio, il satellite SWIFT esplora la regione di origine dell'evento, alla ricerca di qualcosa di nuovo e la stessa cosa verrà fatta, più in grande scala, con le onde gravitazionali. Oggi parliamo di neutrini, le particelle più leggere, più abbondanti e più elusive dell'universo. Oltre ad essere difficili da rivelare, i neutrini sono delle particelle multiformi che si possono presentare in tre "sapori" diversi: i neutrini elettronici, quelli muonici e quelli tauonici. A complicare ulteriormente

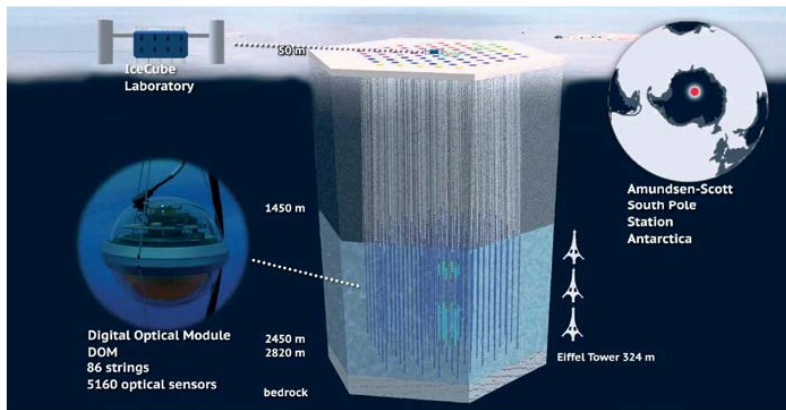
il panorama, si deve aggiungere il fatto che sono particelle trasformiste perché possono cambiare "sapore" passando da uno all'altro, rendendosi irriconoscibili. Di più, non è ancora chiaro se il neutrino sia una particella "standard" o se neutrini e le loro antiparticelle (gli antineutrini, nel modello standard delle particelle) coincidono, così come previsto da Majorana. Di sicuro, se il nostro rivelatore è stato progettato per vedere i prodotti di un neutrino elettronico, non sarà capace di vedere quello che ha lasciato dietro di sé uno muonico e viceversa, in un gioco a nascondino che ha fatto impazzire per anni i fisici e gli astronomi. I neutrini vengono studiati da decenni e, nonostante le grandi difficoltà legate alla loro rivelazione e al loro trasformismo, hanno già regalato ai fisici risultati bellissimi. Oltre che dal Sole, sono stati rivelati una manciata di neutrini coincidenti con l'esplosione della supernova del 1987 nella Grande Nube di Magellano (SN 1987A). Tuttavia si è trattato di neutrini di energia relativamente bassa per i quali è sempre

possibile una contaminazione da parte della radioattività terrestre e dell'atmosfera che è capace di produrre neutrini a seguito delle interazioni dei raggi cosmici con gli atomi dei gas che la compongono. Adesso la frontiera è rappresentata dai neutrini di alta e altissima energia, quelli che sono sicuramente di origine cosmica. Il campione della rivelazione dei neutrini di altissima energia è *IceCube* un enorme cacciatore di neutrini "congelato" nelle distese ghiacciate del Polo Sud. Con immenso sforzo organizzativo, i rivelatori (non dissimili da quelli descritti in questo numero da Giorgio Riccobene, v. pp. 39-43) sono stati calati in buchi scavati nel ghiaccio da torrenti di acqua bollente (prodotta con grandissimo dispendio di energia, ma era di gran lunga il mezzo migliore per farsi strada nel ghiaccio senza sporcarlo). Una volta ultimata la posa della stringa di rivelatori, il buco è stato risigillato facendo gelare l'acqua e si è passati al successivo. E così via, per 86 volte, per un totale di 5160 occhi digitali a scrutare un km cubo di ghiaccio che è stato così trasformato in un telescopio per neutrini. È uno strano telescopio che, a differenza di tutti gli strumenti che conosciamo, vede quello che succede alle sue spalle, quindi "sotto" di lui piuttosto che sopra, come sarebbe normale aspettarsi. Infatti, a differenza dei fotoni, i neutrini non si possono rivelare direttamente. Bisogna piuttosto convincerli ad interagire con la materia per andare a vedere i prodotti di questa interazione. Dall'interazione dei



Una stringa di "occhi" di *IceCube* viene calata nel buco (lungo due chilometri e mezzo) scavato nel ghiaccio con l'acqua bollente.

neutrini muonici, per esempio, si producono muoni ed è proprio tracciando il muone che riusciamo a ricostruire le caratteristiche del neutrino che l'ha generato. Peccato che i neutrini siano così poco vogliosi di interagire con la materia che, per avere una possibilità, seppur piccola di convincerli deve mettere in gioco il più grande spessore del quale disponiamo: tutta la Terra. I rivelatori di neutrini vedono dei segnali che giungono loro dal basso in corrispondenza della trasformazione di un neutrino, che ha attraversato tutto il nostro pianeta, in una particella rilevabile attraverso l'emissione di radiazione Čerenkov che va a colpire gli "occhi" che sono sepolti nel ghiaccio o nelle profondità del mare. I neutrini di altissima energia visti da *IceCube* sono così pochi che i ricercatori danno a ciascuno un nome.



Schema del telescopio per neutrini *IceCube* costruito vicino alla base Scott Amundsen al Polo Sud. I rivelatori per neutrini (la palla che vediamo nell'insero) operano a profondità comprese tra 1,5 e 2,5 km e vengono controllati dal laboratorio che si trova in superficie.

I primi sono stati chiamati *Bert* e *Ernie*, ispirandosi ai personaggi di *Sesame Street*. Il numero ridotto non diminuisce il loro interesse e la rivista *Science* ha dedicato la sua copertina al segnale registrato da uno di questi campioni di energia, sicuramente di origine celeste, anche se non è ancora chiaro quali mostri del cielo siano in grado di produrre particelle di energia così elevata. In questo fascicolo, però, abbiamo scelto di concentrarci su rivelatori che operano (od opereranno) nelle profondità del Mare Mediterraneo. Senza nulla togliere ad *IceCube* e agli altri rivelatori di neutrini operativi o previsti nel prossimo futuro, ci è piaciuta l'idea di curiosare tra la scienza che si fa, o si farà, con i rivelatori di *Antares*, già operativi nelle acque al largo di Tolone, e KM3NeT, in costruzione al largo di Capo Passero, in Sicilia.

In effetti, come leggerete, non ci siamo limitati alla scienza che è, o sarà, possibile fare con i neutrini. Quando si opera nel mare, gli scienziati si trovano a condividere il volume del loro rivelatore con la flora e la fauna marina. Certo è una complicazione della quale si farebbe volentieri a meno ma, come spesso succede, i problemi possono diventare opportunità, aprendo la via a studi interdisciplinari e a collaborazioni inedite tra fisici, biologi ed ecologi, come ci racconta Giorgio Riccobene. Non sono solo i fisici a subire il fascino di queste particelle fantasma. Proprio per la loro natura così enigmatica ed evanescente, i neutrini colpiscono l'immaginazione di un pubblico molto più vasto.

La capacità dei neutrini di attraversare la Terra ha affascinato Laurent Mulet, un artista francese che ha immaginato un percorso e una installazione artistica per sancire il legame tra le remote regioni di ingresso dei neutrini e il sito di *Antares*, di fronte alla città di Tolone. Per concretizzare questa sua idea si è associato con Thierry Stolarczyk, all'epoca responsabile scientifico di *Antares*, che ci ha raccontato la storia di questa inedita collaborazione tra arte e scienza. Prima semplicemente curioso, poi contagiato dall'entusiasmo, Thierry ha toccato con mano l'interesse e la risposta del pubblico per questo nuovo modo di divulgare la scienza. Il suo racconto è la storia di una avventura umana, prima che scientifica, che merita un po' del vostro tempo. ■