

# Tutte le voci dell'universo

## Strategie multimessenger per esplorare il cosmo

di Maurizio Spurio

Il '900 ha visto evolversi una sempre più acuta diversificazione tra fisici delle particelle, astrofisici e cosmologi. Questo ha portato alla formazione di comunità scientifiche specializzate, alla nascita di "modelli standard" indipendenti per il microcosmo e il macrocosmo (il modello standard delle particelle e quello cosmologico, vd. in *Asimmetrie* n. 15 p. 4, ndr), basati ciascuno su tecniche sperimentali specifiche. Lo sviluppo di strumenti per la rivelazione della radiazione elettromagnetica è stato alla base delle osservazioni astronomiche, mentre la tecnologia per i rivelatori di particelle, per lungo tempo, è rimasta ancorata ai laboratori di alta energia e agli esperimenti con gli acceleratori. La situazione è iniziata a cambiare negli ultimi decenni, con la nascita di laboratori ed esperimenti sotterranei, con la possibilità di misurare efficacemente sul suolo sciami estesi di particelle, con la capacità di inviare nello spazio rivelatori di particelle leggeri, compatti ed efficienti e, infine, con la straordinaria qualità degli interferometri, finalmente capaci di rivelare le onde gravitazionali. La disponibilità di questi nuovi rivelatori, che permettono l'osservazione dei raggi cosmici carichi (protoni e nuclei) e neutri (raggi gamma, neutrini) e delle onde gravitazionali, unita a quella dei telescopi e rivelatori (ottici, radio, UV, microonde) tradizionalmente usati in astronomia, permetterà di aprire nei prossimi decenni nuovi scenari nella conoscenza del micro e del macrocosmo.

La strada comune, recentemente imboccata dalla comunità dei fisici astroparticellari e degli astronomi, è detta "astronomia *multimessenger*" e consiste nello studio del macrocosmo anche con le tecniche sperimentali del microcosmo. La potenza di questo approccio è quella di poter validare i

modelli astrofisici proposti in modo completo, permettendo di escludere, o riformulare, i modelli che concordano con una parte delle osservazioni ma non con i dati raccolti dagli altri strumenti. Con una similitudine che richiama i nostri cinque sensi, potremmo approssimare l'approccio dell'astronomia tradizionale con l'uso dei soli occhi. I raggi cosmici, i raggi gamma, le onde gravitazionali e i neutrini rappresenterebbero allora gli altri sensi. E come tutti sanno, una buona pizza, ad esempio, non si giudica solo con gli occhi! Storicamente, le prime osservazioni *multimessenger* hanno avuto luogo nei laboratori sotterranei (come i Laboratori Infn del Gran Sasso), nati per ospitare esperimenti per la verifica di teorie oltre il modello standard delle particelle. Questi siti offrono l'ambiente ideale per misurare il flusso di neutrini prodotti dalle reazioni che avvengono per la nucleosintesi nel Sole o durante il collasso gravitazionale di stelle massive. È successo ad esempio

con l'osservazione della supernova SN1987A, identificata il 24 febbraio 1987 ed esplosa a 170 mila anni luce dalla Terra, nella nube di Magellano. I modelli prevedono che le supernovae come la SN1987A rilascino il 99% dell'energia di legame gravitazionale sotto forma di neutrini e questo è stato verificato con la SN1987A. La misura con alta statistica oggi possibile (migliaia o decine di migliaia di interazioni, ad esempio, per una supernova nel centro della nostra galassia) dello spettro energetico e temporale dei neutrini in arrivo permetterebbe finalmente di affinare i modelli e comprendere cosa avviene durante il collasso di una supernova. Senza dimenticare che potremmo avere indicazioni sulle proprietà dei neutrini e sulla loro oscillazione (vd. in *Asimmetrie* n. 14 p. 29, ndr).

a.  
L'ingresso dei laboratori sotterranei del Gran Sasso.





L'universo primordiale offre le più importanti connessioni tra particelle, astrofisica e cosmologia. Il suo studio ha evidenziato gravi inconsistenze tra "modelli standard". Osservazioni astrofisiche e cosmologiche mostrano che la maggior parte (circa il 69%) della densità di energia è sotto l'oscura (in tutti i sensi) forma di energia oscura, il 26% sotto forma di materia oscura e solo il 5% è materia compresa nel modello standard delle particelle. Inoltre, è ignoto il perché questo 5% sia composto quasi esclusivamente di materia (ossia di protoni ed elettroni) e non di materia e antimateria. Le misure che permettono di ricavare i parametri cosmologici sono basate sulla radiazione elettromagnetica. L'osservazione di eventi caratteristici (come, ad esempio, la coalescenza di due stelle di neutroni) tramite onde gravitazionali potrebbe aprire un modo indipendente con cui verificare

nel prossimo futuro l'attuale modello standard cosmologico.

Il problema della comprensione della materia oscura è quello che sta richiedendo (e richiederà) i maggiori sforzi globali in termini di informazioni *multimessenger*. I candidati di materia oscura sinora preferiti dai fisici delle particelle sono le Wimp (*Weakly Interacting Massive Particles*, vd. p. 31, ndr). La ricerca di materia oscura è in programma con acceleratori, con tecniche tradizionali di fisica passiva in laboratori sotterranei, con rivelatori di neutrini e di raggi gamma. Oltre alle Wimp sono in corso ricerche, e si stanno vagliando nuove opportunità sperimentali, per altre ipotetiche particelle quali, ad esempio, gli "assioni" (vd. p. 34, ndr) e i neutrini sterili massivi (vd. in *Asimmetrie* n. 18 p. 34, ndr), che hanno caratteristiche compatibili con le osservazioni astrofisiche.

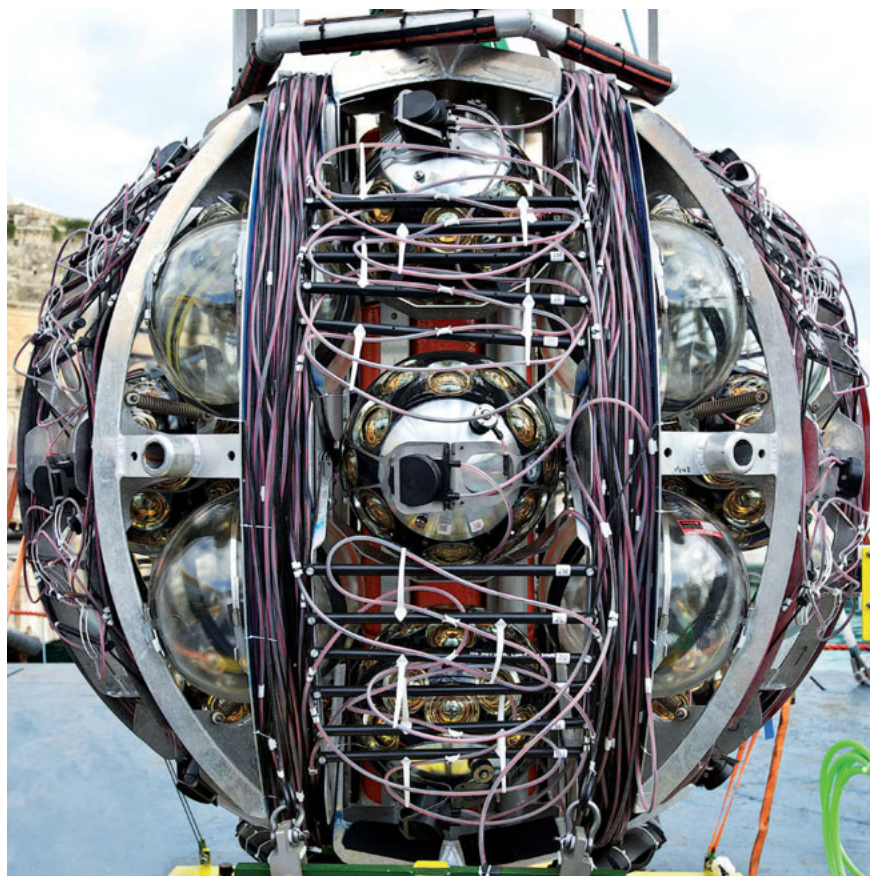
b.  
L'esperimento Xenon in fase di costruzione nei Laboratori del Gran Sasso. È uno dei rivelatori in cui i fisici sperano di "vedere" le Wimp, possibili particelle di materia oscura.

Le sorgenti di raggi cosmici carichi sono ancora un capitolo di studio aperto. Oggetti astrofisici accelerano particelle anche oltre a  $10^{20}$  eV, ossia circa 7 ordini di grandezza oltre l'energia di Lhc. Chi siano e dove siano ubicati gli "acceleratori cosmici" oltre il PeV ( $10^{15}$  eV) è ancora oscuro e potremmo chiarirlo solo rivelando sonde neutre di alta energia. Per questo scopo, apparati per misurare raggi gamma sono posti su satelliti o distribuiti su grandi aree della superficie terrestre, mentre i neutrini sono studiati tramite enormi telescopi posti in profondità nel Mar Mediterraneo o sotto il ghiaccio dell'Antartide.

L'osservazione simultanea di un evento cosmico con onde gravitazionali, fotoni (i messaggeri della radiazione elettromagnetica) e neutrini (o, per iniziare, con due su tre di queste sonde) sarebbe epocale. Ci si attende che le onde gravitazionali e quelle elettromagnetiche si propaghino alla stessa velocità e che i neutrini dovrebbero leggermente ritardare a causa della loro (piccola) massa. Tali verifiche sperimentali toccano di per sé aspetti fondamentali della fisica. Tacendo il fatto che un'osservazione permetterebbe di determinare limiti e/o valori sulla massa dei oncomitanza di un *gamma ray burst*, una potentissima esplosione cosmica che produce un intenso flusso ("lampi") di raggi gamma di alta energia. In tal caso, ci si aspetta che lo spettro energetico dei neutrini sia strettamente correlato con quello dei raggi gamma e che eventuali distorsioni nello spettro misurato potrebbero indicare segnali di presenza, ad esempio, di neutrini sterili. Lo studio congiunto di particelle neutre e cariche in arrivo da uno stesso oggetto astrofisico potrebbe permettere di stimare il valore dei campi magnetici extragalattici, informazione rilevante per comprendere l'evoluzione delle strutture cosmiche. Se alcuni *gamma ray burst* fossero dovuti alla coalescenza di oggetti di massa nota (per esempio stelle di neutroni, come verificato se si osservassero le corrispondenti

onde gravitazionali), l'osservazione congiunta di fotoni e neutrini provenienti da questi oggetti aprirebbe un nuovo capitolo per lo studio delle interazioni di particelle in arrivo con energie irraggiungibili con tecniche terrestri.

"Next" non potrà che essere il tentativo di unificare i diversi modelli standard. Capire se davvero non conosciamo il 95% dell'universo e, nel caso affermativo, da cosa questo è composto. A tale scopo, le osservazioni *multimessenger* non sono solo un vantaggio, ma una necessità.



c.  
Una stringa del rivelatore Km3net-Arca, equipaggiata con 18 moduli ottici. Ogni stringa è alta 700 metri e viene deposta a 3500 m di profondità al largo di Capo Passero (Mar Ionio). Durante la posa la stringa è avvolta nel suo modulo di lancio, una sfera di appena 2 metri di diametro. L'ancora e una boa (non visibile nella foto) permettono di mantenere la stringa in verticale sott'acqua.

#### Biografia

**Maurizio Spurio** è professore all'Università di Bologna. È autore del libro "Particles and Astrophysics: a multi-messenger approach" edito da Springer. Ha svolto ricerche con l'Infn in fisica e astrofisica dei neutrini, prima nell'esperimento Macro al Gran Sasso, ora nel telescopio Antares di cui è vice-coordinatore.