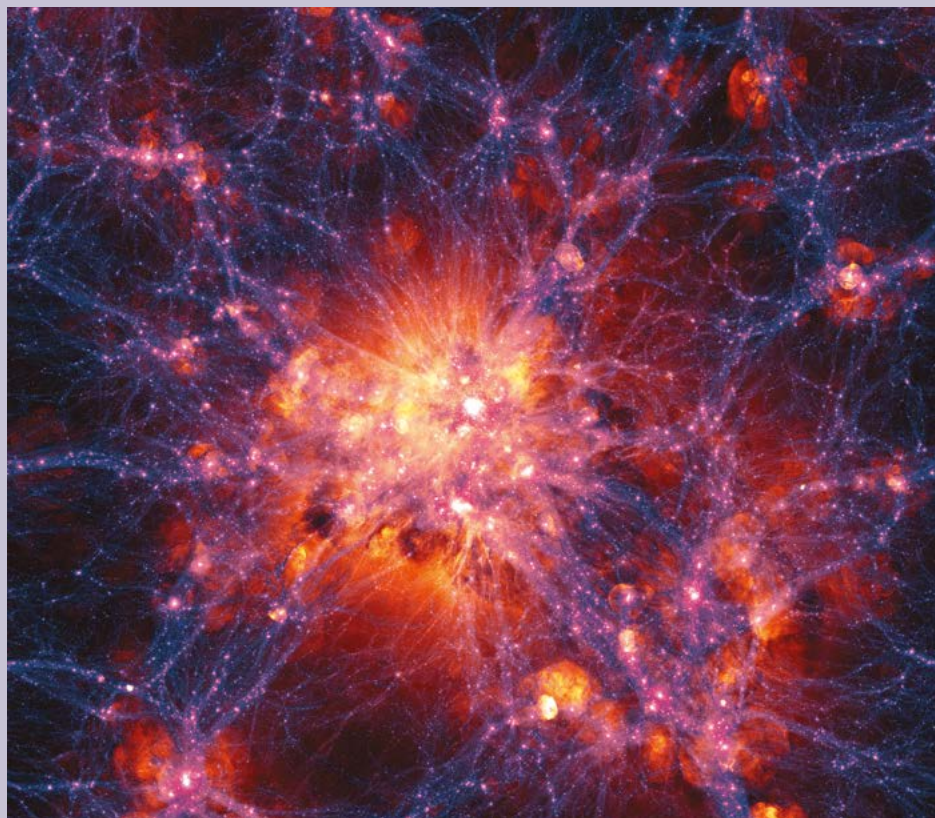


Prova a prendermi

La ricerca di materia oscura con esperimenti sotterranei

di Paolo Gorla e Federica Petricca



a.
Visualizzazione della struttura a grande scala dell'universo, ottenuta dalla simulazione cosmologica Illustris. L'immagine mostra la complessa rete di filamenti che collega i massicci ammassi di galassie.

Quarant'anni sottoterra, a scrutare il cielo, e ancora nessun segnale. Da decenni scienziati da tutto il mondo si ritrovano in luoghi unici, come i Laboratori del Gran Sasso, unendo competenze e strumenti nella sfida di svelare uno dei più grandi misteri della fisica: la materia oscura. Capire cosa tiene insieme le stelle nelle galassie e governa l'attrazione gravitazionale tra i corpi celesti è infatti una delle questioni più affascinanti nello studio del cosmo.

La materia oscura potrebbe spiegare numerose osservazioni astrofisiche e cosmologiche legate alla gravità che, ancora oggi, non trovano una spiegazione completa.

A partire dagli anni '30 del '900 abbiamo iniziato a capire che la materia visibile dell'universo – stelle, pianeti e gas interstellare – rappresenta solo una piccola frazione del cosmo. Il resto è costituito da una componente invisibile, che non emette luce e interagisce debolmente con la materia ordinaria, ma che si

manifesta attraverso i suoi effetti gravitazionali sul moto di stelle e galassie.

Oggi sappiamo che la materia ordinaria costituisce circa il 5% del contenuto dell'universo, mentre la materia oscura ne rappresenta circa il 27%. Il restante 68% è attribuito all'energia oscura, una componente ancora più enigmatica, responsabile dell'espansione accelerata dell'universo. Comprendere la natura della materia oscura e studiarne le proprietà è una delle grandi sfide della fisica moderna.

L'ipotesi più accreditata è che la materia oscura sia composta da particelle elementari diverse da quelle che conosciamo, distribuite attorno alle galassie a formare una sorta di nuvole di forma sferica, i cosiddetti "aloni galattici". La loro presenza contribuirebbe significativamente ad aumentare la massa delle galassie, spiegando gli effetti che osserviamo: dal moto delle stelle nella rotazione galattica all'attrazione tra galassie vicine.



b.
Dettagli della Time
Projection Chamber
dell'esperimento
XENON-nT durante
le fasi di costruzione
dell'apparato.

Ma perché non abbiamo mai osservato queste particelle?

La materia oscura non interagisce con la luce né con le forze nucleari forti. Tuttavia, la sua massa esercita un'attrazione gravitazionale misurabile.

L'ipotesi è che comunichi con il resto dell'universo attraverso una forza estremamente flebile che la rende uno dei componenti più elusivi della natura. Come possiamo allora misurarne la natura? L'idea è quella di realizzare rivelatori in cui sia possibile misurare l'interazione delle particelle di materia oscura con i nuclei degli atomi che li costituiscono. Quando una di queste particelle urta un nucleo atomico, rilascia una quantità minuscola di energia: un segnale debolissimo ma potenzialmente misurabile che può fornire informazioni sulla particella che lo ha urtato.

Purtroppo queste interazioni sono rarissime, soprattutto se confrontate con quelle causate dai raggi cosmici che ci piovono sulla testa dallo spazio. Per questo motivo, per avere una possibilità di osservare un segnale, è fondamentale installare i rivelatori in laboratori sotterranei, dove la roccia sovrastante funge da scudo naturale contro il rumore di fondo cosmico.

Un passo importante in questa direzione arriva nel 1984, quando Andrzej Drukier e Leo Stodolski propongono per la prima volta di utilizzare rivelatori criogenici per osservare i neutrini attraverso lo *scattering* coerente sui nuclei. L'anno successivo, Mark Goodman e Edward Witten mostrano come questi stessi rivelatori possano essere impiegati per cercare particelle di materia oscura presenti nell'alone della nostra galassia.

Nel 1986 iniziano i primi tentativi sperimentali. Da un lato Oliviero Cremonesi, dall'altro Frank Avignone e collaboratori,

conducono ricerche utilizzando rivelatori al germanio. Il primo, utilizzando i dati di un rivelatore installato nel laboratorio del Monte Bianco, attivo negli anni '80 lungo il traforo tra Italia e Francia; l'altro nella miniera di Homestake, in Sud Dakota, lo stesso sito in cui Raymond Davis Jr. realizzò la prima misura dei neutrini solari (vd. p. 4, ndr). La sensibilità di questi strumenti si rivela insufficiente per osservare la materia oscura. Nonostante ciò, si apre una nuova era di esplorazione scientifica, che dà impulso allo sviluppo di rivelatori sempre più sofisticati, con l'obiettivo di cogliere per la prima volta un segnale dovuto alla presenza dell'alone galattico di materia oscura.

Nel tempo gli scienziati hanno messo in campo tecnologie sempre più innovative per rivelare la materia oscura, riuscendo, ad esempio, a distinguere una particella neutra, come ci si aspetta che sia la materia oscura, da una particella carica e a misurarne l'energia con una precisione un tempo impensabile. Oggi, fisici delle particelle da ogni parte del mondo, affrontano la sfida della caccia alla materia oscura nei laboratori sotterranei sparsi per tutto il globo, dal nord America al Giappone, passando per l'Europa fino ad arrivare alla Cina. In questo scenario i Laboratori del Gran Sasso giocano un ruolo di primo piano, ospitando alcuni degli esperimenti più sensibili al mondo per la ricerca di materia oscura.

Nonostante le innumerevoli osservazioni astrofisiche che hanno portato al modello degli aloni galattici, le caratteristiche della materia oscura (natura, origine, massa) rimangono ancora ignote. Per questo la caccia si combatte su più fronti.

All'interno dei Laboratori dell'INFN sotto il massiccio del Gran Sasso numerosi esperimenti sfruttano caratteristiche



c.
Uno dei moduli
criogenici
dell'esperimento
CRESST durante la fase
di assemblaggio del
rivelatore.

differenti per cercare di massimizzare le possibilità di scoperta. Da un lato un "gigante" tecnologico, l'esperimento XENON-nT, che rappresenta uno dei punti di riferimento a livello mondiale per la ricerca di materia oscura (assieme ai suoi "gemelli": l'americano LZ a Sanford Underground Research Facility e il cinese PANDA-X, nel China Jinping Underground Laboratory). XENON-nT ha raggiunto livelli di sensibilità senza precedenti, grazie all'utilizzo di un rivelatore a doppia fase, basato su circa otto tonnellate di xenon liquido e gassoso racchiuse in un'imponente struttura (vd. fig b). Questi enormi volumi sono indispensabili per aumentare la probabilità di interazione con particelle di materia oscura relativamente pesanti (da decine a centinaia di masse del protone). Eppure, finora, non c'è ancora nessuna evidenza.

All'estremo opposto, la ricerca si fa con rivelatori piccolissimi e ultra-precisi. CRESST, basato su cristalli scintillanti di tungstato di calcio del peso di pochi grammi (vd. fig c), è in grado di raggiungere soglie di energia senza pari (pochi elettronvolt). Operando a temperature prossime allo zero assoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$), questi sono in grado di registrare gli impercettibili urti di particelle di materia oscura leggera, rendendo l'esperimento un riferimento internazionale nella ricerca di particelle di materia oscura con massa inferiore a quella di un protone.

Gli esperimenti SABRE e COSINUS cercano di avere una conferma indipendente dei risultati osservati per la prima volta da DAMA/LIBRA (vd. in Asimmetrie n. 4 p. 37, ndr), utilizzando approcci complementari basati su cristalli di ioduro di sodio, e si preparano a entrare in presa dati.

Il prototipo CYGNO sta sviluppando una tecnologia capace di tracciare la direzione di provenienza delle particelle di materia oscura, per sfruttare il movimento del sistema solare nell'alone galattico che conferisce alla materia oscura una direzione di provenienza privilegiata.

Mentre la caccia prosegue con gli strumenti attuali, la comunità scientifica guarda già alla prossima generazione di rivelatori ultrasensibili. L'esperimento DarkSide-20k, attualmente in costruzione, impiegherà oltre 20 tonnellate di argon in un rivelatore a doppia fase, spingendo ancora più in là i limiti di sensibilità.

In fondo, 40 anni di ricerche senza un'osservazione definitiva non hanno scoraggiato la comunità scientifica, che si prepara a rilanciare la sfida per la prima osservazione della materia oscura sotto il massiccio del Gran Sasso con rivelatori grandi come edifici o piccoli come cristalli.

Biografie

Paolo Gorla è ricercatore presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Da sempre interessato alla fisica del neutrino e degli eventi rari, ha sviluppato rivelatori criogenici operanti a temperature prossime allo zero assoluto. Partecipa a importanti collaborazioni internazionali per la ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini (CUORE/CUPID) e della materia oscura (CRESST).

Federica Petricca è ricercatrice e Group Leader presso il Max-Planck-Institut für Physik di Monaco di Baviera. La sua attività di ricerca si concentra sulla fisica delle astroparticelle, con un focus specifico sulla ricerca diretta della materia oscura e nello sviluppo di rivelatori criogenici d'avanguardia. È responsabile internazionale dell'esperimento CRESST, condotto presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso.