



QUBIC:

Studiare l'universo primordiale con lo strumento
QUBIC - Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology



Oggi vengono pubblicati su un numero speciale del “Journal of Cosmology and Astroparticle Physics” otto articoli della collaborazione QUBIC che descrivono in dettaglio la configurazione corrente dell'esperimento ed i risultati delle calibrazioni. QUBIC è un esperimento concepito per studiare la fisica dell'universo appena nato, un attimo dopo il Big Bang. Lo farà osservando il fondo cosmico di microonde, la prima luce dell'universo, in particolare misurando una sua componente polarizzata, i cosiddetti modi-B. QUBIC è un telescopio di concezione completamente nuova, basato su una tecnica denominata “interferometria bolometrica”. Osserverà il cielo a partire dalla fine del 2022, da un sito desertico di alta quota (5000 m) in Argentina, vicino alla località San Antonio de Los Cobres. Dopo il suo sviluppo e l'integrazione presso i laboratori europei, lo strumento è arrivato in Argentina nella città di Salta nel luglio 2021. Qui si sta procedendo alla fase finale di test in laboratorio. I test hanno confermato che dopo il trasporto e la nuova installazione lo strumento sta funzionando secondo le aspettative. È un passo fondamentale verso le misure di interesse cosmologico, che inizieranno alla fine di quest'anno.

Contesto scientifico

Gli ultimi decenni hanno visto un progresso senza precedenti nella comprensione dell'universo e della sua storia. Tuttavia vi sono ancora domande profonde che attendono una risposta: che cosa è accaduto nei primissimi istanti dell'evoluzione dell'universo? Cosa avverrà nel futuro? Cosa sono la materia oscura e l'energia oscura? QUBIC è un telescopio progettato per affrontare le sfide poste da queste domande, in particolare dalla prima.

La teoria che meglio descrive ciò che potrebbe essere avvenuto nei primi istanti dell'universo è la cosiddetta “teoria dell'inflazione”, sviluppata negli anni '80 per spiegare alcune caratteristiche dell'universo, fra cui la “piattezza” e l'estrema omogeneità dello spazio-tempo. Secondo questa teoria l'universo subì una rapidissima espansione durata meno di un millesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo (circa 10^{-32} secondi) durante la quale si formarono le disomogeneità che avrebbero dato vita alle strutture di cui è formato l'universo attuale (stelle, galassie, ammassi di galassie).

Sebbene tutte le osservazioni di cui disponiamo siano compatibili con questo scenario, non esiste ancora una prova diretta di questa teoria, ed è proprio questa prova che QUBIC sta cercando. Infatti la rapidissima espansione avvenuta durante l'inflazione avrebbe lasciato un debole fondo di onde gravitazionali, che a loro volta



avrebbero prodotto una particolare e debolissima traccia, denominata “modi-B”, nella polarizzazione del fondo cosmico di microonde. In pratica, le onde elettromagnetiche del fondo cosmico non oscillerebbero in direzioni casuali. Sarebbero invece leggermente preferite direzioni che in cielo formano un disegno vorticoso. Da qui il nome di modi-B per analogia con il campo magnetico, che ha proprietà vorticose. La misura dei modi-B costituirebbe una prova diretta della teoria dell’inflazione, uno straordinario risultato che avrebbe profonde implicazioni anche per la fisica fondamentale, date le enormi energie alle quali avviene il fenomeno inflazionario.

La ricerca dei modi-B rappresenta una sfida formidabile per gli astrofisici. Il segnale da misurare è così debole da richiedere rivelatori ultrasensibili e telescopi di grande precisione, anche per rimuovere, durante l’analisi dati, altri segnali polarizzati di origine locale che potrebbero confondere la misura. La ricerca dei modi-B è talmente centrale nella cosmologia moderna che il premio Grüber per la cosmologia del 2021 è stato conferito a tre ricercatori di questo campo, uno dei quali, Matías Zaldarriaga, è argentino e collabora con QUBIC.

QUBIC

QUBIC è uno strumento specificatamente progettato per misurare i modi-B. È il risultato della collaborazione di 130 ricercatori e ingegneri in Francia, Italia, Argentina, Irlanda e Regno Unito. Lo strumento è stato integrato a Parigi presso i laboratori APC nel 2018 e calibrato durante il 2019-2021. La collaborazione italiana vede impegnati gruppi che lavorano presso Sapienza Università di Roma, l’Università degli Studi di Milano, l’Università di Milano Bicocca e l’Università di Roma Tor Vergata e le relative sezioni dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, con finanziamenti da parte del Programma Nazionale Ricerche in Antartide e dell’INFN.

Il contributo italiano è stato fondamentale per lo sviluppo dello strumento, e continuerà ad esserlo nelle fasi successive dell’esperimento. Lo strumento è ospitato in un criostato progettato e costruito dall’Università La Sapienza (sezione di Roma1 dell’INFN), capace di raffreddare vicino allo zero assoluto non solo i rivelatori ma anche tutto il sistema ottico dell’interferometro. Il medesimo team ha realizzato anche il sistema criomeccanico che permette di ruotare i componenti ottici all’interno del criostato per misurare lo stato di polarizzazione della radiazione. Italiane sono anche altre componenti criogeniche, che lavorano ad una temperatura inferiore a -270C, come le avanzatissime antenne corrugate che selezionano i fotoni da far interferire, realizzate dall’Università di Milano (Sezione INFN di Milano), mentre le ottiche che focalizzano i fotoni sui rivelatori ed il sistema di otturatori che permette di variare la configurazione dell’interferometro e di autocalibrarlo sono realizzate dall’Università di Milano Bicocca (Sezione INFN di Milano Bicocca). L’Università di Tor Vergata (Sezione INFN di Roma2) contribuisce invece allo sviluppo del complesso software di analisi dei dati.

QUBIC è il primo strumento basato sull’“interferometria bolometrica” e combina l’elevatissima sensibilità dei rivelatori bolometrici raffreddati a -273°C, con la precisione degli strumenti interferometrici. Grazie alle sue caratteristiche QUBIC consente di suddividere i vari colori in ciascuno dei “pixel” in cui è suddivisa la mappa celeste. Questa possibilità è cruciale per poter separare i modi-B dai segnali generati dalle altre sorgenti del cielo. QUBIC verrà installato sul plateau La Puna nell’Argentina settentrionale, a una quota di 5000 m s.l.m. vicino alla cittadina di San Antonio de los Cobres nella provincia di Salta. QUBIC è arrivato a Salta nel luglio 2021 ed è attualmente in fase di calibrazione. I test hanno confermato che lo strumento non ha subito danni nel suo viaggio dalla Francia e che sta funzionando secondo le aspettative. L’infrastruttura al sito di operazione è in fase di completamento e l’installazione dello strumento è prevista per gli ultimi mesi del 2022.

Silvia Masi (Sapienza Università di Roma e INFN Sezione di Roma), coordinatrice del contributo italiano a QUBIC, sottolinea che *“QUBIC è uno strumento originale ed estremamente complesso: per questo era necessario pubblicare in anticipo tutti i dettagli del suo hardware e delle nuove metodologie di sfruttamento dei dati raccolti. Inoltre, con queste lunghe ed esaustive calibrazioni abbiamo dimostrato in laboratorio l’efficienza di QUBIC come interferometro bolometrico. È un passo essenziale per le successive misure di interesse per la cosmologia e la fisica fondamentale.”* Aniello Mennella (Università di Milano e INFN Sezione di Milano) aggiunge: *“QUBIC verrà portato nel sito di Alto Chorrillo entro pochi mesi. Le prime misure dimostreranno l’efficienza del nuovo metodo dell’interferometria bolometrica per la prima volta osservando sorgenti astronomiche. Lo strumento verrà poi completato inserendo un maggiore numero di rivelatori, in modo da poter eseguire le misure di interesse cosmologico*



entro tre anni. La strada è lunga, e QUBIC si presenta come estremamente originale e complementare a tutti gli altri che cercano di misurare questo elusivo segnale primordiale". Mario Zannoni (Università di Milano Bicocca e INFN sezione di Milano Bicocca) ricorda che "La misura di un segnale così debole verrà ritenuta esente da errori sistematici solo se si avranno risultati consistenti provenienti da strumenti molto diversi. Proprio per questo motivo QUBIC, unico interferometro bolometrico, rappresenta un asset insostituibile nella ricerca dei modi-B e nello studio dei primi attimi dell'universo." Conclude Giancarlo De Gasperis (Università di Tor Vergata e INFN Sezione di Roma2): "Grazie alle capacità multispettrali e di autocalibrazione, QUBIC produrrà un set di dati del tutto originale e complementare a quelli degli esperimenti concorrenti, offrendo agli analisti innumerevoli possibilità di controllo incrociato e una robustezza ineguagliabile dei risultati."

Contesto internazionale:

Le misure di QUBIC saranno contemporanee a quelle di una mezza dozzina di altri esperimenti nel mondo che hanno lo stesso obiettivo scientifico: BICEP/KECK, CLASS, SPIDER, Simons Observatory negli USA, LSPE in Italia, Ali-CPT in Cina, e, più avanti (2030), il satellite LiteBIRD, a guida giapponese e con un significativo contributo italiano. Tutti questi strumenti producono immagini direttamente, tramite telescopi a singola apertura, mentre QUBIC è l'unico che lo fa attraverso l'interferometria di molte aperture. I possibili errori sistematici di QUBIC saranno quindi diversi da quelli di tutti gli altri strumenti. Per questo assume un ruolo fondamentale nel panorama internazionale dello studio dei primi attimi dell'universo.

Ulteriore documentazione:

- Pagina web di QUBIC: <http://qubic.in2p3.fr/wordpress/>
- Numero speciale di JCAP (Journal of Cosmology and Astroparticle Physics): <https://iopscience.iop.org/journal/1475-7516/page/Special%20Issues>
- Video <https://f.io/G-WVKNbU> - credits: Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

Contatti:

Dr. Jean-Christophe Hamilton, Spokesperson and Principal Investigator of QUBIC,
Research Director at APC (Paris) - CNRS-IN2P3 - hamilton@apc.in2p3.fr - tel: +33 06 88 01 06 75

prof. Silvia Masi, coordinatrice Italiana
Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma e INFN sezione di Roma, tel. 06 49914271,
silvia.masi@roma1.infn.it

Prof. Aniello Mennella
Dipartimento di Fisica, Università degli studi di Milano e INFN sezione di Milano, tel. 02 50317275 ,
aniello.mennella@fisica.unimi.it

Prof. Mario Zannoni
Dipartimento di Fisica, Università degli studi di Milano Bicocca e INFN sezione di Milano Bicocca, tel. 02 64482379, mario.zannoni@unimib.it

Dr. Giancarlo De Gasperis
Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata e INFN sezione di Roma2, tel 06 72594091
giancarlo.degasperis@roma2.infn.it