

Interviste Newsletter

A CACCIA DI RAGGI COSMICI NELLA PAMPA ARGENTINA CON L'OSSERVATORIO PIERRE AUGER



Intervista ad Antonella Castellina, ricercatrice dell'INAF associata alla sezione INFN di Torino, coordinatrice scientifica dell'Osservatorio Pierre Auger.

Antonella Castellina è stata da poco eletta coordinatrice scientifica (*spokesperson*) dell'Osservatorio Pierre Auger, gestito da una collaborazione internazionale di oltre 400 scienziati di 17 paesi cui l'INFN partecipa, e dedicato allo studio dell'origine delle astroparticelle di altissima energia grazie a un grande rivelatore diffuso nella Pampa

Argentina in prossimità della cittadina di Malargüe, in provincia di Mendoza. In occasione della sua recente nomina, le abbiamo chiesto di descriverci le attività dell'osservatorio di cui è coordinatrice e i suoi obiettivi futuri.

Ci introduce all'Osservatorio Pierre Auger? Quali sono i suoi obiettivi?

L'Osservatorio Pierre Auger è dedicato allo studio delle astroparticelle di energia estrema, i raggi cosmici ad altissima energia, detti UHECR (*Ultra High Energy Cosmic Rays*), con un'energia superiore a un trilione (10^{18}) di elettronvolt. Pochissime particelle con queste energie riescono ad arrivare sulla Terra: per questo motivo non possono essere osservate direttamente, ma si cerca di osservare i prodotti secondari dell'interazione di queste particelle con l'atmosfera terrestre, gli "sciame estesi atmosferici". Per osservare questi sciame, sono necessari osservatori molto estesi, che occupano un'area grandissima, come l'Osservatorio Pierre Auger che si estende su un'area totale di 3000 chilometri quadrati. Inoltre, per ottenere il maggior numero possibile di informazioni, nell'Osservatorio si utilizza un sistema ibrido di rivelatori: 1660 stazioni Cherenkov registrano le particelle dello sciame che arrivano a terra, e costituiscono il rivelatore di superficie; quattro siti posti attorno a quest'area, ciascuno con sei telescopi di fluorescenza, misurano la luce emessa dagli sciame attraversando l'atmosfera; altri tre telescopi a maggiore elevazione (ovvero in grado di osservare la luce emessa dagli sciame tra 30 e 58 gradi sopra il piano orizzontale) consentono di estendere ulteriormente l'intervallo di energie misurabili. L'obiettivo principale dell'Osservatorio è quello di determinare le sorgenti, ancora sconosciute, degli UHECR, misurandone la composizione in massa, l'energia e le direzioni d'arrivo. Attraverso queste misure, possiamo studiare le caratteristiche delle possibili sorgenti e i loro meccanismi di accelerazione. Auger è inoltre l'unico osservatorio esistente che può essere sensibile ai flussi sia di neutrini sia di fotoni di origine cosmologica di altissima energia, contribuendo alle misure di astronomia multimessaggera. Oltre agli studi di tipo astrofisico, con i dati raccolti è possibile esplorare le caratteristiche delle interazioni adroniche a energie inarrivabili agli

acceleratori, e valutare l'esistenza di fisica oltre il Modello Standard, la teoria che descrive le particelle elementari.

L'Osservatorio ha oggi oltre vent'anni di storia, quali sono i principali risultati scientifici che siete riusciti a ottenere in questi anni?

I risultati scientifici ottenuti dalla Collaborazione Pierre Auger coprono campi di ricerca diversi e complementari, dall'astrofisica alla fisica delle particelle, fino alla fisica atmosferica. Siamo riusciti a raggiungere la prima osservazione sperimentale dell'origine extragalattica della radiazione cosmica a energie maggiori di 8×10^{18} eV, con un'elevata significatività statistica, maggiore di 7σ . Inoltre, a energie superiori a 3×10^{19} eV, abbiamo studiato la possibile correlazione tra le direzioni d'arrivo degli UHECR con le posizioni di possibili sorgenti, utilizzando i cataloghi di galassie ottenuti da esperimenti come Fermi-LAT e 2MRS (2MASS Redshift Survey). Ad oggi, le migliori correlazioni che abbiamo ottenuto riguardano gli UHECR che provengono da galassie *starburst*, in cui il processo di formazione stellare è estremamente violento. Abbiamo poi stabilito che la composizione nucleare degli UHECR non è costante, ma evolve verso masse più pesanti al crescere dell'energia, rivoluzionando i modelli passati. Auger svolge, inoltre, un ruolo centrale nell'astronomia multimessaggera, grazie alla sua capacità di distinguere sciame generati da fotoni e neutrini da quelli di origine adronica. La ricerca di flussi diffusi o di sorgenti puntiformi di neutrini e fotoni consente di studiare le caratteristiche delle possibili sorgenti e di stabilire limiti nell'emissione di fotoni e neutrini durante i processi di fusione che producono onde gravitazionali. Poiché l'universo è un acceleratore di particelle straordinariamente potente, con Auger possiamo studiare la produzione di particelle in intervalli di energia che gli esperimenti del Large Hadron Collider del CERN non riescono a raggiungere (LHC raggiunge energie nelle interazioni tra protoni fino a circa 14 TeV, contro i 450 TeV e oltre che misuriamo ad Auger), verificando così la validità delle estrapolazioni del Modello Standard, basate sui dati di LHC, alle energie estreme. I risultati di Auger sui flussi di neutrini e fotoni permettono, inoltre, di verificare l'esistenza di possibili effetti non previsti nel Modello Standard: abbiamo stabilito limiti alla possibile violazione della cosiddetta "invarianza di Lorentz" e alle caratteristiche della materia oscura superpesante.

L'Osservatorio ha appena completato il programma di potenziamento AugerPrime. In che cosa è consistito?

Per raggiungere gli obiettivi scientifici futuri, e rispondere alle domande nate da quelli raggiunti finora, è essenziale ottenere ulteriori misure della composizione dei raggi cosmici su un campione statistico elevato di eventi ad altissima energia, sfruttando al massimo i rivelatori di superficie. A questo scopo abbiamo potenziato l'Osservatorio installando su ogni stazione Cherenkov un rivelatore a scintillazione con lettura a fibre ottiche, e un'antenna radio per misurare i segnali prodotti dagli sciame a frequenze comprese tra 30 e 80 MHz. Inoltre, l'elettronica di Auger è stata totalmente rinnovata e ottimizzata e sono stati installati rivelatori a scintillazione a circa 2,5 metri sottoterra per la misura diretta della componente muonica degli sciame.

Qual è il programma scientifico che la Collaborazione Auger sta portando avanti oggi, anche in seguito all'upgrade?

Il nostro obiettivo è quello di misurare la composizione in massa degli UHECR fino a energie superiori a 10^{20} eV per riuscire a rispondere a diverse questioni aperte dagli attuali risultati di Auger. Innanzitutto, potremo stabilire l'origine della forte diminuzione osservata nel flusso degli UHECR al di sopra di $\sim 5 \times 10^{19}$ eV, riuscendo a stabilire

se è dovuta agli effetti degli UHECR o al raggiungimento di un valore massimo di energia disponibile alle sorgenti. Inoltre, misurando la frazione di protoni alle massime energie potremo porre le basi per futuri esperimenti e valutare la fattibilità dell'astronomia delle particelle cariche. Con il potenziamento dell'elettronica e la presenza delle antenne radio, siamo inoltre in grado di aumentare la nostra efficienza nella registrazione di neutrini e fotoni: l'identificazione di anche solo uno di essi avrebbe grandi conseguenze dal punto di vista astrofisico. Infine, vogliamo aggiungere ulteriori informazioni sulle interazioni adroniche alle altissime energie, dove non possono arrivare le misure dei grandi collisori di particelle, ed esplorare fenomeni al di là del Modello Standard, previsti per esempio dalle teorie di gravità quantistica o nella teoria delle stringhe.

L'Italia e in particolare l'INFN sono fortemente coinvolti nei lavori dell'osservatorio. Quali sono i principali contributi italiani al progetto?

L'INFN partecipa ad Auger con le Sezioni di Catania, Lecce, Milano, Roma Tor Vergata, Napoli, Torino e il gruppo collegato de L'Aquila e i suoi ricercatori e ricercatrici costituiscono circa il 10% del totale della collaborazione. Il disegno, i test e la produzione dell'elettronica e dei filtri per i rivelatori a fluorescenza, la progettazione delle basi per i fototubi del rivelatore di superficie sono esempi del contributo dell'INFN, così come il contributo alla costruzione dei telescopi di fluorescenza e alla gestione dei fotomoltiplicatori e dell'elettronica dei rivelatori di superficie. Per il potenziamento dell'Osservatorio, abbiamo prodotto in Italia la nuova elettronica e il sistema di estensione dell'intervallo dinamico di misura dei segnali, gestito la costruzione e il test di una parte degli scintillatori, sviluppato le infrastrutture di test per i fototubi e le alte tensioni. Inoltre, i ricercatori dell'INFN hanno ruoli importanti nella Collaborazione, sia nel management sia come responsabili di diversi gruppi di analisi. Attualmente, due dei coordinatori scientifici dell'Osservatorio sono italiani.

La collaborazione Auger è fortemente impegnata nell'adottare una politica di accesso aperto ai dati. Perché ritenete sia importante che una comunità sempre più ampia e diversificata di utenti abbia accesso a questi dati?

I dati di Auger sono il risultato di un vasto investimento morale, umano e finanziario a lungo termine da parte della comunità internazionale. Il riutilizzo di questi dati, a diversi livelli e in diversi momenti, offre un'opportunità scientifica unica e crediamo che l'accesso aperto ai dati e al *software* consentirà, a lungo termine, la massima realizzazione del loro potenziale scientifico. Rendere pubblici i dati, a diversi livelli di complessità, può essere utile per iniziative educative, ad esempio nelle "Masterclass" dedicate agli studenti delle scuole superiori, e per sensibilizzare in generale la comunità dei cittadini alla ricerca scientifica.

Lei è chiamata a guidare una collaborazione di centinaia persone provenienti da tutto il mondo. Quali saranno le sue responsabilità e quali le principali sfide che ritiene dovrà affrontare?

Come *spokesperson*, rappresento la Collaborazione per le questioni scientifiche, tecniche e gestionali. La mia prima responsabilità è quella di scegliere, insieme al co-spokesperson, i coordinatori scientifici e dei rivelatori che insieme a me hanno la responsabilità di stabilire gli obiettivi scientifici di Auger, e di proporre i responsabili dei diversi gruppi di ricerca in cui è organizzata la Collaborazione. Inoltre, mi devo occupare di definire le risorse necessarie al progetto e di cercare di ottenere l'impegno di tali risorse per la costruzione e il funzionamento dell'Osservatorio. La Collaborazione ha una lunga vita alle spalle, e dunque occorre uno sforzo di rinnovamento, coinvolgendo nuovi giovani per lavorare sull'*upgrade* e concludere i test per la messa in

funzione della presa dati della nuova fase. È una sfida molto impegnativa, ma la partenza dell'osservatorio dopo l'*upgrade* sarà una spinta formidabile per tutti noi.

Che cosa prevede e si augura per il futuro dell'Osservatorio Auger?

Nel 2026 inizierà la seconda fase dell'Osservatorio, con la conclusione della fase di test dei nuovi rivelatori. Avremo altri dieci anni di presa dati, che di sicuro saranno estremamente interessanti e impegnativi. Dovremo lavorare per rafforzare la dimensione internazionale di Auger, coinvolgendo nuovi gruppi. Mi aspetto di ottenere risultati importanti per la ricerca delle sorgenti di queste particelle di altissima energia, e soprattutto di poter annunciare la rivelazione di neutrini e fotoni ad altissima energia, una scoperta eccezionale per tutta la fisica multimessaggera.