

RELAZIONE CONVEGNO 23 MARZO 2024

Nella splendida cornice lariana di Villa Gallia, attuale sede della Provincia di Como, si è tenuto, a cura del **Circolo Culturale Ricreativo "Sardegna" di Como APS**, un convegno scientifico aperto a tutti dove, con un linguaggio semplice e chiaro, è stato presentato al pubblico presente il **progetto europeo dell'Einstein Telescope** destinato a far luce sui misteri dell'universo attraverso lo studio delle onde gravitazionali.

Una iniziativa, quella del Circolo "Sardegna", promossa a sostegno della candidatura italiana per ospitare la grande infrastruttura scientifica del progetto ET nella miniera dismessa di **Sos Enattos a Lula**, in provincia di Nuoro.

Il presidente del Circolo "Sardegna", **Pietro Palmas**, apre il convegno ringraziando tutti i presenti, i relatori intervenuti e leggendo il messaggio inviato dalla Ministra del MUR, **Anna Maria Bernini**, invitata all'evento ma impossibilitata a venire per improrogabili e coincidenti impegni istituzionali, e passando poi la parola al Presidente della Provincia di Como, il **Dott. Fiorenzo Bongiasca**, all'assessore **Michele Cappelletti** in rappresentanza dell'amministrazione comunale di Como e al **sindaco di Lula, Mario Calia**, in videoconferenza dalla Sardegna.

Conclusa la fase dei saluti e ringraziamenti, Pietro Palmas, dopo la presentazione dei quattro relatori, lascia la parola al **Dott. Matteo Serra** dell'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) di Cagliari - Coordinatore della comunicazione di ET Italia e moderatore dell'evento, che dopo una breve introduzione passa il microfono al **Prof. Francesco Haardt** dell'Università degli Studi dell'Insubria - Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia per una introduzione generale sulle onde gravitazionali, compito non semplice data la complessità dell'argomento.

Parlare di onde gravitazionali vuol dire parlare dello scienziato Albert Einstein, nominato uomo del ventesimo secolo e al quale è dedicato il progetto "Einstein Telescope", e della sua Teoria della Relatività.

Il prof. Haardt esordisce citando le due teorie della relatività, la cosiddetta "Ristretta o Speciale" (1905) e quella "Generale" (1915), la più legata alle onde gravitazionali, che rappresentano le due moderne teorie fisiche che descrivono lo spazio e il tempo e che hanno completamente rimpiazzato i concetti newtoniani di tempo e spazio assoluti. Einstein, con la Relatività Generale è riuscito a dare una visione completamente diversa del mondo in cui viviamo, mettendo in dubbio che la gravità newtoniana funzionasse e questo malgrado non ci fosse alcun motivo vero per dubitarne.

La grande scoperta della Relatività Generale è che le masse gravitazionali curvano i raggi di luce e questo vuol dire che tali masse curvano lo spazio-tempo. Le onde gravitazionali ad oggi osservate sono legate ai cosiddetti "buchi neri", oggetti dotati di una massa tale che la gravità è talmente intensa che la luce non riesce ad uscire e rimane catturata al suo interno. La prova diretta dell'esistenza dei "buchi neri" sono appunto le onde gravitazionali che rappresentano delle perturbazioni dello spazio-tempo. E' come ipotizzare lo spazio come una sorta di tappeto elastico teso. In assenza di materia rimane piatto, ma in sua presenza s'incurva proprio come il tappeto si deforma se vi poggiamo sopra un oggetto.

Le onde gravitazionali non viaggiano nello spazio come le radiazioni elettromagnetiche, ma è la trama stessa dello spazio e del tempo ad oscillare, quindi è come dare un piccolo scossone al tappeto elastico prima citato creando un'onda che si propaga su tutto il tappeto, cioè nello spazio, alla velocità della luce.

Le sorgenti delle onde gravitazionali sono quindi delle masse accelerate e per poterle osservare tali masse devono essere molto grandi essendo le onde gravitazionali molto deboli. Un esempio può essere dato dalla presenza di due "buchi neri" con una massa elevata che ruotano l'uno intorno all'altro ad una velocità prossima a quella della luce e senza entrare in contatto tra loro, ma capaci di modificare lo spazio-tempo circostante generando delle increspature, quindi delle onde gravitazionali.

Il Prof. Haardt conclude il suo intervento anticipando che le onde gravitazionali si osservano sfruttando il fenomeno dell'interferenza della luce, cioè il principio sul quale si basa il funzionamento di un interferometro gravitazionale.

Il Dott. Serra passa la parola al **Dott. Andrea Contu**, ricercatore INFN e responsabile Einstein Telescope Cagliari, per parlare proprio del progetto ET e quindi di cosa si vuole misurare e ovviamente in che modo farlo. Ricollegandosi all'introduzione sulle onde gravitazionali e ai due "buchi neri" che ruotando velocemente l'uno intorno all'altro generano delle onde gravitazionali, viene evidenziato come le stesse si propagano nello spazio raggiungendo anche la Terra. La prima domanda che si pone un fisico è di capire cosa succede quando passa un'onda gravitazionale. Viene fatto l'esempio di un cerchio perfetto composto da mattoni che a un certo punto viene attraversato da un'onda gravitazionale. L'effetto che ha l'onda gravitazionale sul cerchio è quello di allungarlo inizialmente in una direzione per fargli poi riprendere la forma circolare e deformarlo successivamente nella direzione perpendicolare alla prima e così via. Da un punto di vista pratico quello che si deve misurare è quindi un movimento nel tempo il che si traduce, per l'esempio proposto, nel misurare costantemente la distanza tra due mattoni e quando questa varia vuol dire che è passata un'onda gravitazionale. Le onde gravitazionali hanno però lo svantaggio di essere molto deboli. Se si prendono due "buchi neri" grandi come il nostro Sole che girano l'uno attorno all'altro ad una distanza di 20 km e stanno a 50 milioni di anni luce da noi, se facessi un cerchio di mattoni sulla Terra del diametro di 10 km la distanza tra due mattoncini opposti cambia di 10 miliardesimi di miliardesimo di metro, quindi una distanza piccolissima e questo giustifica come solo dopo 100 anni dalla predizione di Einstein si è stati in grado di rivelarle, infatti lo stesso scienziato era pessimista sul fatto che le stesse potessero essere prima o poi osservate.

Ma come si misurano le onde gravitazionali? Si sfrutta un principio che è quello dell'interferenza legato alle onde luminose. Per capire cos'è l'interferenza viene fatto l'esempio con un altro tipo di onde, quelle che si generano in uno stagno completamente piatto quando viene lanciato un sasso. Se pensiamo di lanciare contemporaneamente due pietre queste vanno a generare delle onde che si propagano nello stagno e ad un certo momento queste si incrociano. In alcuni punti un'onda è alta e una è bassa e le stesse si annullano, in altri punti sono entrambe alte oppure entrambe basse e gli effetti si sommano, quindi quello che succede è che stanno interferendo. Questo fenomeno è quello che caratterizza anche le onde luminose che pur non essendo percepibili dal nostro occhio, sono comunque assimilabili a quelle dello stagno.

Gli attuali interferometri gravitazionali si compongono di due bracci lunghi tre chilometri disposti ad "L".

Un fascio luminoso prodotto da una apposita sorgente viene scomposto in due da uno specchio semirifrangente e i due fasci vengono indirizzati su due specchi sospesi posti alle estremità dei due bracci ad "L". I due fasci luminosi vengono riflessi per poi ricomporsi tra loro indirizzando il fascio luminoso risultante ad un rilevatore di luce. In analogia all'esempio dello stagno, se le onde luminose si trovano in una situazione di alto e basso si annullano e il risultato è il buio, se passano delle onde gravitazionali gli specchi si muovono e quello che rileva il nostro sensore è una alternanza di luce e di buio.

Il principio di funzionamento dell'Einstein Telescope è sostanzialmente identico, cambia la struttura, ora su tre e non due bracci, e la distanza tra gli specchi, ora molto più grande così da rendere ancor più sensibile lo strumento e la capacità dello stesso di misurare le onde gravitazionali più deboli. Questo rende di fondamentale importanza isolare il sistema dall'ambiente esterno, perché anche un piccolo ed impercettibile sisma può simulare il segnale di un'onda gravitazionale. Negli attuali interferometri gli specchi sono molto stabili, infatti hanno un peso di 40 kg e sono sospesi con fili sottilissimi, perché più sono sottili migliore è l'isolamento con l'ambiente esterno e gli stessi sono inoltre all'interno di campane di vetro dalle quali viene aspirata l'aria perché la stessa è in grado di trasmettere le onde sonore che possono far vibrare gli specchi e simulare anch'esse un segnale assimilabile a quello di un'onda gravitazionale.

Le onde gravitazionali ad oggi osservate sono relative ad eventi quali "buchi neri" che si scontrano o comunque oggetti dalle proprietà molto simili, ma in realtà le onde gravitazionali sono emesse da qualsiasi massa e fenomeno, ma solo quelle legate ai "buchi neri" sono abbastanza forti da poter essere osservate. Con l'Einstein Telescope si dovrebbe superare in parte questa limitazione.

La cosa importante da evidenziare è che la velocità della luce non è infinita, quindi la luce per andare da un punto A ad un punto B ci mette un certo tempo e questo vuol dire che quando osservo un fenomeno lontano lo osservo com'era in passato, quindi se osservo un oggetto che è un anno luce distante da noi, lo osservo com'era un anno luce fa, perché è il tempo che ha impiegato la luce ad arrivare a noi, quindi osservare un qualcosa lontano nello spazio vuol dire anche osservarlo lontano nel tempo.

Con gli interferometri attuali riusciamo a vedere lontano di qualche miliardo di anni luce.

L'universo dovrebbe avere circa 14 miliardi di anni e l'obiettivo dei fisici è avvicinarsi sempre di più al momento della sua origine, il "Big Bang", per vedere gli stadi iniziali della sua formazione e con ET, che sarà molto più sensibile, si potranno vedere segnali che provengono da molto più lontano e come tali più deboli. Per raggiungere questi obiettivi si deve isolare il sistema da tutte le possibili interferenze esterne. Il primo modo è costruire il tutto in profondità e il secondo è ovviamente farlo più grande, quindi più sensibile ai movimenti.

Ci sono due siti candidati per ospitare l'Einstein Telescope, uno in Olanda e uno in Italia nella miniera dismessa di Sos Enattos, nel territorio del comune di Lula in Sardegna. Il Dott. Contu mostra dei grafici relativi ai due siti evidenziandone la rumorosità sismica e come il sito sardo abbia una rumorosità 10 volte inferiore a quella del sito olandese, silenzioso al punto tale che con dei semplici sismometri posti in profondità si possono registrare anche le onde del mare osservando le frequenze tipiche che le caratterizzano per il mar Tirreno, il mar Mediterraneo e anche dell'Oceano Atlantico.

Dietro al progetto ET, come evidenzia il Dott. Contu, non c'è solo un discorso scientifico, ma anche economico. Costruire la struttura e installare l'interferometro costa circa 2 miliardi di euro, spesa ripartita al 50% tra la nazione ospitante e la restante parte dai partner esteri che contribuiscono all'impresa.

Perché c'è tanta competizione con il sito olandese? Oltre ai 2 miliardi legati al costo dell'infrastruttura scientifica, vi sono altri 6 miliardi legati all'indotto che riguarderanno i settori edile, meccanico, ingegneristico, dei trasporti, della ristorazione, dell'ospitalità, molta forza lavoro e altro ancora che non interesserà solo Lula, ma tutta l'Italia e anche l'Europa non essendoci in Sardegna alcuna impresa che ha le tecnologie per costruire questo polo scientifico. Questo solo per la fase costruttiva che richiederà tra i 10 e i 15 anni, poi seguirà la fase di funzionamento che si spera sia di decine di anni il che comporterà un notevole volume di affari a livello regionale e nazionale, quindi non solo interessi scientifici, ma anche economici e da qui l'interesse degli olandesi.

Ospitare ET in Italia è una grande opportunità per tutti, per gli scienziati sardi e non solo, per tutti quelli che, sulla base delle loro competenze, vogliono dedicarsi a questo ambizioso progetto e questo è l'augurio del Dott. Contu a conclusione del suo intervento.

Il Dott. Serra passa la parola al **Dott. Davide Rozza**, tecnico universitario - Università degli Studi di Milano-Bicocca e INFN sezione di Milano-Bicocca, impegnato negli ultimi anni anche a Sos Enattos per degli esperimenti scientifici già in corso. Il discorso fondamentale legato allo studio delle onde gravitazionali è che si parla di un qualcosa talmente piccolo che non è visibile ad occhio nudo ed è come ipotizzare di essere a Lisbona, buttare un bicchiere d'acqua nell'oceano e accorgersi che a Miami il livello dell'oceano si è alzato. Per fare queste misure non si ha bisogno solo di avere una buona tecnologia, ma anche avere una zona che permetta di costruire questa tecnologia e che stia in equilibrio e funzioni ed è per questo che il sito sardo è candidato ad ospitare il progetto ET.

Dal 2020 al 2023 nella zona di Sos Enattos sono stati collocati numerosi sensori, sismometri ecc. e sono state effettuate numerosi misure per caratterizzare il sito ed individuare tutte le sorgenti di rumore. Il sito è

risultato talmente silenzioso che oltre al rumore delle onde del mare, si è stati in grado di definire anche a velocità delle auto transitanti sulla vicina strada.

Un piccolo aneddoto raccontato dal Dott. Rozza è che se oggi si trovano nella miniera di Sos Enattos è perché il capo minatore ha risposto al telefono ai ricercatori dell'università di Roma che stavano cercando un posto in cui poter fare delle misurazioni del rumore sismico, dato che già si sapeva che la Sardegna era una terra particolarmente silenziosa da questo punto di vista, ma non si trovava una miniera nella quale condurre queste misure. Il capo minatore guardò molto avanti intuendo quello che poteva essere il futuro della miniera di Sos Enattos grazie alla ricerca fisica, il ridare una nuova vita ad un sito oramai dismesso perché era diventato anti economico proseguire con l'estrazione di piombo e zinco.

Nelle gallerie della miniera di Lula i ricercatori hanno collocato sismometri e magnetometri per fare misure di rumore su periodi brevi e lunghi, così da vedere le sorgenti dei vari rumori.

Nel 2021 si sono scavati due pozzi profondi 250 metri negli ipotetici vertici del triangolo del Telescopio di Einstein, posizionando sul fondo degli stessi dei sismometri, dato che l'obbiettivo è quello di costruire l'interferometro in profondità e non certo in superficie, come l'interferometro VIGO, per isolarsi ancor di più dai possibili rumori non solo sismici, ma anche termici operando a più basse temperature.

Il Dott. Rozza prosegue richiamando un grafico già mostrato dal Dott. Contu nel quale si evidenzia il rumore sismico registrato negli anni novanta da tutti i sismometri presenti sulla faccia della Terra e nel quale si vede come il sito di Sos Enattos rimane ben al di sotto del valore minimo registrato, quindi quello sardo risulta meno rumoroso di tutti gli altri siti al mondo e questo perché dal un punto di vista geologico la Sardegna è stabile, essendo una placca che dal momento in cui si è staccata dalla Spagna non si è più mossa.

Altro importante esperimento è stato quello di posizionare, nel gennaio 2023, otto sismometri tra Lula e la cava di granito e basalto di Loculi (NU) per misurare la velocità con la quale si propagavano le onde provocate, due volte all'anno, dalle esplosioni per l'estrazione del materiale. Dai dati raccolti è stato possibile fare una analisi della conformazione del sottosuolo, individuare eventuali faglie, ecc..

Non meno importanti sono state le misure del rumore provocato da un parco di pale eoliche posizionato a circa 15 km dalla miniera di Sos Enattos che se pur percepibile non è tale da inficiare il buon funzionamento di ET, ma questa analisi ha evidenziato che se si dovessero insediare nuovi parchi eolici con pale di maggiori dimensione in prossimità della miniera potrebbe essere un problema.

Altro progetto in corso alla miniera è ad opera dell'INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che stanno allestendo un laboratorio che sarà in grado di osservare i terremoti di bassa magnitudo che si verificano dall'altra parte del mondo. Questa misura sarebbe impossibile da condurre in altre zone d'Italia considerando la sismicità di tali luoghi.

A Sos Enattos è attualmente presente in un capannone dismesso una sala di controllo, un laboratorio di ottica e, in aggiunta ai vari sismometri e magnetometri per la caratterizzazione del sito, per la prima volta anche un esperimento di fisica. Dal 2020, infatti, nel capannone viene ospitato il prototipo di una bilancia che viene chiamata Archimedes, con la quale si vuole pesare il vuoto, cioè verificare se una volta tolta l'aria e quindi la massa ad essa collegata non vi sia dell'energia, quella che si ipotizza pervada tutto l'universo e che si vuole appunto pesare per dimostrarne l'esistenza. Questa bilancia ultrasensibile sfrutta lo stesso principio dell'interferometro, quindi un fascio laser che viene diviso in due fasci diretti su due punti del suo braccio. Una oscillazione del braccio provocherebbe una interferenza ottica diversa rispetto alla posizione iniziale. Questa bilancia in Sardegna funziona per la silenziosità del sito che consente di tenere stabile la posizione del braccio senza dover operare alcuna correzione, cosa che non era stato possibile fare in altri posti quali Napoli e Pisa. Sos Enattos ha un rumore di un fattore 100 più basso rispetto all'area che ospita l'interferometro VIRGO a Cascina (PI) a conferma della validità del sito. I ricercatori sono e saranno coinvolti nell'attività di creare dei prototipi di dispositivi che verranno poi utilizzati per ET, vedi per esempio le

sospensioni da utilizzare per gli specchi, e che saranno direttamente testati alla miniera di Lula. A breve verrà smantellato il capannone attualmente utilizzato dai ricercatori per costruire un vero laboratorio che a prescindere dall'assegnazione dell'Einstein Telescope alla Sardegna rimarrà presente per continuare ad effettuare esperimenti di fisica data la validità, oramai certificata, del sito.

Alla fine dell'intervento del Dott. Rozza sono seguite numerose domande da parte del pubblico partecipante che ha mostrato grande interesse sul progetto ET.

A fine evento il Circolo "Sardegna" ha offerto a tutti i presenti un rinfresco con la promozione di prodotti tipici sardi.

Video

Servizio dell'emittente locale Espansione TV: www.youtube.com/watch?v=RkTHChy7hml