

GIOVEDÌ 2 MARZO 2017

IL GRIDO DEI BUCHI NERI

Onde gravitazionali e nuova fisica, il contributo del *Centro Arnold-Regge*

EUGENIO COCCIA

61 anni, dopo aver lavorato con Edoardo Amaldi, ha fatto ricerca al CERN di Ginevra e condotto esperimenti nel Laboratorio del Gran Sasso e contribuito alla realizzazione dell'antenna europea VIRGO per captare le onde gravitazionali. Tra i riconoscimenti che ha ricevuto, il prestigioso Premio Giuseppe Occhialini.

PIETRO FRÉ

Fisico teorico laureatosi alla Scuola di Tullio Regge, ordinario all'Università di Torino, ha dato importanti contributi alla teoria delle stringhe, della supergravità e alla più recente cosmologia. Ha diretto la SISSA (Trieste) ed è attualmente addetto scientifico italiano a Mosca per conto del Ministero degli Esteri.

LEONARDO CASTELLANI

E' professore di fisica teorica all'Università del Piemonte Orientale. Anche lui proveniente dalla scuola di Tullio Regge, ha fatto ricerca alla Divisione teorica del CERN e si occupa di gravità e meccanica quantistica. Tra i suoi interessi, supergravità, superstringhe, meccanica quantistica.

ALESSANDRO NAGAR

Centro Fermi e INFN sez. di Torino, dopo un lungo periodo di ricerca a Parigi con l'eminente fisico teorico Thibault Damour, è da poco rientrato a Torino, dove si occupa di teoria delle onde gravitazionali.

PER SAPERNE DI PIÙ

Tullio Regge, Stefano Sandrelli, *Autobiografia di un curioso*, Einaudi

Vladimir I. Arnold, *Teoria delle catastrofi*, Bollati Boringhieri

Vincenzo Barone, *Albert Einstein. Il costruttore di universi*, Laterza 2016

Pietro Greco, *Einstein aveva ragione. Mezzo secolo di impegno per la pace*, Scienza Express, 2012

WEB

Il romanzo della scienza - 100 anni di relatività. Programma audio di Radio 3, con interventi, tra gli altri, di Eugenio Coccia, Vincenzo Baroni, Carlo Rovelli - goo.gl/sRITDE

L. Castellani, "Oltre la quarta dimensione", *Asimmetrie*, n.5 (2007), INFN - goo.gl/wMEGiL

Un sito divulgativo preparato da Luciano Rezzolla sulle onde gravitazionali in italiano sulla rivista *Asimmetrie on line* dell'INFN - goo.gl/qb7xAe

Riparte la caccia alle onde gravitazionali Inaugurato presso Pisa *Advanced Virgo*

Lunedì 20 febbraio, ore 11,30, all'European Gravitational Observatory (EGO), è stato ufficialmente inaugurato "Advanced Virgo", interferometro gravitazionale di seconda generazione. L'Italia, con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), è tra i fondatori di questa specialissima "antenna" costituita da due "bracci" lunghi 3 chilometri ciascuno che sorgono presso Pisa. L'antenna gravitazionale interferometrica Advanced Virgo è entrata così nella fase di tuning-up: messa a punto e calibrazione. Nei prossimi mesi si unirà ai due interferometri statunitensi LIGO e comincerà il primo ciclo di presa dati per fare fisica nel nuovo campo dell'astronomia gravitazionale, aperto un anno fa dalle antenne americane con la prima osservazione diretta delle onde previste da Einstein nel 1915.

Advanced Virgo è il potenziamento dell'interferometro Virgo realizzato con l'obiettivo di migliorarne la sensibilità di un fattore 10 e di conseguenza consentire l'esplorazione di un volume di cosmo 1000 volte maggiore. Dopo 5 anni di lavoro (2012-2016) e un investimento di 23,8 milioni di euro (21,8 finanziati al 50% dall'INFN e dall'altro istituto fondatore, il francese Centre National de la Recherche Scientifique, e 2 milioni dall'olandese Nikhef), Advanced Virgo ha attuato modifiche dell'apparato ottico con specchi pesanti migliorati, un'elettronica nuova più potente, un sofisticato sistema di compensazioni delle aberrazioni, un isolamento sismico potenziato, lo smorzamento della luce diffusa e un miglioramento del vuoto nell'interferometro. Advanced Virgo sarà in grado di "vedere" gli ultimi istanti di vita di coppie di stelle compatte, come le

stelle di neutroni, o di buchi neri che ruotano l'uno attorno all'altro sempre più vicini fino a fondersi in un unico oggetto, come è accaduto nel caso della prima rivelazione delle onde gravitazionali da parte dei due interferometri statunitensi LIGO, il 14 settembre 2015.

La storia di Virgo inizia concettualmente a metà degli anni '80 e si concretizza a metà degli anni '90 grazie alla fermezza visionaria dei due padri fondatori, Adalberto Giazotto e Alain Brillet, in un progetto finanziato da Italia e Francia. Nel 2000, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e il Centre National de la Recherche Scientifique fondarono il consorzio italo-francese EGO, European Gravitational Observatory, che ha permesso la costruzione dell'infrastruttura e la realizzazione dell'interferometro Virgo. Nel corso degli anni Virgo ha attratto la collaborazione di altri 4 paesi europei. Oltre a INFN e CNRS, oggi partecipano Nikhef (Olanda), Polgraw-Polish Academy of Science (Polonia), Wigner Institute (Ungheria) e Universitat de València (Spagna). Dal 2007 LIGO e Virgo agiscono come una collaborazione scientifica globale.

Nella campagna di Pisa, guardando da fuori, niente è cambiato. Advanced Virgo utilizza le stesse infrastrutture di Virgo: i due tunnel fuori terra che costituiscono i bracci di 3 chilometri, gli edifici alla fine dei bracci e al loro estremo comune e i tubi da ultra-alto vuoto in cui corrono i fasci di luce laser (ricordiamo che il laser di Virgo emette luce infrarossa, quindi non visibile, con una lunghezza d'onda di 1,06 mm).

Ma guardando all'interno, tutto è cambiato, o quasi. La sensibilità è migliorata portando la "finezza" delle cavità ottiche risonanti, che

costituiscono i bracci di 3 chilometri, ad un valore di 400. Ciò significa che ogni fotone percorrerà un braccio dell'interferometro circa 400 volte avanti e indietro, amplificando dello stesso fattore il segnale, costituito dallo sfasamento su di esso indotto dalla variazione di lunghezza del braccio, prodotta a sua volta dall'onda gravitazionale.

Ulteriori miglioramenti derivano da specchi più grandi, più pesanti (quindi più stabili) e di migliore qualità, capaci di accettare il fascio prodotto dal nuovo laser a fibra ottica da 200 W. Le deformazioni degli specchi prodotte dalla pur minima frazione di energia luminosa assorbita vengono compensate illuminando con un laser ausiliario anche la periferia degli specchi, non interessata dal fascio principale. In questo modo la superficie degli specchi, mantenuta tutta a temperatura uniforme, non si deforma di una quantità apprezzabile.

Sotto ciascun piede dei superattenuatori - cioè le sospensioni per l'isolamento antisismico degli specchi - è stato collocato un attuatore piezoelettrico che, cambiando opportunamente la sua lunghezza, compenserà esattamente le variazioni di inclinazione del terreno di qualunque origine, e specialmente di origine sismica. Il sistema è comandato mediante inclinometri di eccezionale sensibilità, sviluppati appositamente.

Con una sensibilità 10 volte migliore rispetto ai rivelatori di prima generazione, Advanced Virgo riuscirà ad esplorare una regione di universo con un raggio di centinaia di milioni di anni luce, in cui si stima che vengano emessi parecchi "lampi" di onde gravitazionali rivelabili ogni anno. L'intervallo di frequenza delle onde gravitazionali a cui un rivelatore terrestre di seconda generazione sarà sensibile va da alcuni Hz ad alcuni kHz.

Il limite inferiore è determinato dalle vibrazioni sismiche che, pur estremamente ridotte, raggiungono gli specchi; spingere questo limite al di sotto di 10 Hz richiede sofisticate tecniche di controllo delle sospensioni, che correggano anche le deformazioni della crosta terrestre dovute all'attrazione del Sole e della Luna: cioè le maree terrestri.

Il limite superiore di alcuni kHz è dato dalle fluttuazioni statistiche del numero di fotoni che circolano nei bracci di 3 chilometri: quanti più sono i fotoni con cui si confrontano le lunghezze dei bracci, tanto più precisa sarà la loro misura. Per questo si è aumentata la potenza del laser e la "finezza" delle cavità risonanti dei bracci.

Un'ultima astuzia, di natura propriamente quantistica, consentirà di aumentare la sensibilità degli interferometri sfruttando il principio di indeterminazione di Heisenberg. Il caso più noto di questo principio si riferisce al fatto che non è possibile conoscere contemporaneamente, con arbitraria precisione, la posizione e la velocità di una particella materiale: il prodotto delle indeterminazioni delle due variabili non può essere inferiore ad un certo valore. Per un fascio di luce coerente è il prodotto degli errori su ampiezza e fase che non può essere ridotto sotto un certo limite. Ciò non impedisce, però, di ridurre di molto l'errore sulla fase, lasciando crescere quello sull'ampiezza del fascio; alimentare un interferometro con luce laser di queste caratteristiche è molto vantaggioso, poiché è proprio l'errore sulla fase che ne determina la sensibilità. Questa procedura è già stata provata in Germania sull'interferometro gravitazionale GEO600 con risultati positivi.

A questo punto possiamo davvero dire che incomincerà la nuova "astronomia

gravitazionale”. Il risultato più evidente dell’aprirsi di questa finestra osservativa sarà la realizzazione di mappe del cielo in cui verranno rappresentate fra le stelle le sorgenti di onde gravitazionali, in parte probabilmente coincidenti con corpi celesti già noti, come sorgenti di radiazione elettromagnetica, visibile o non. L’attesa per queste nuove mappe è grandissima, poiché le onde gravitazionali sono originate dalla massa dei corpi celesti, mentre la luce visibile e gli altri mezzi di indagine disponibili ad oggi sono legati alla presenza nella materia di cariche elettriche. Radiazioni di natura totalmente diversa potranno dare immagini del cosmo altrettanto diverse. Le onde gravitazionali, in quanto generate dal moto delle masse, potrebbero svelarci almeno una parte di quella maggior parte dell’universo, la “materia oscura”, di cui oggi non sappiamo quasi nulla.

La nuova astronomia gravitazionale, insieme con l’astronomia elettromagnetica, (cioè ottica, radio, infrarossa, ultravioletta, in raggi X e gamma), l’astronomia terrestre e satellitare, unite ai neutrini e all’astronomia dei raggi cosmici, costituirà la “multi messenger astronomy”, che ci darà una visione molto più completa dell’universo. A questo scopo Virgo, LIGO e GEO600 già da anni applicano protocolli di scambio di dati con telescopi e rivelatori di ogni tipo.

Altre informazioni:

<http://public.virgo-gw.eu/language/it/>

Carlo Bradaschia,
aggiornamento di Piero Bianucci;
dal mensile “*le Stelle*”
fondato da Margherita Hack,
in edicola ogni ultimo giovedì del mese

CENTRO ARNOLD-REGGE – ARC

Il Centro prende il nome da due personalità scientifiche eccezionali, Tullio Regge e Vladimir Arnold, che hanno dato contributi straordinari e originali all’algebra, alla geometria e alla fisica teorica. Sia Arnold sia Regge avevano un approccio geometrico e intuitivo alla matematica. Entrambi avevano un talento per combinare strutture matematiche lontane e diverse tra loro in trame inaspettate, che hanno portato a nuove concezioni sulle quali generazioni di scienziati hanno lavorato e continueranno a lavorare. Il Regge Calculus, cioè l’approssimazione di spazi curvi ottenuta ‘incollando’ poliedri, e la classificazione delle singolarità’ ADE di Arnold, che si applica alla teoria delle catastrofi, sono due esempi primari. Regge e Arnold hanno avuto grande influenza sui giovani scienziati lasciando dietro loro una significativa tradizione intellettuale e un’importante eredità scientifica.

www.giovediscienza.it

