

Giovedì **Scienza** 30^a Edizione

LA SCIENZA IN DIRETTA
settimana per settimana

GIOVEDÌ 18 FEBBRAIO 2016

SULL'ONDA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI

Dalla previsione di Einstein alla nascita di una nuova astronomia

VINCENZO BARONE

Vincenzo Barone insegna Fisica teorica all'Università del Piemonte Orientale. All'attività di ricerca nel campo della teoria delle interazioni fondamentali unisce da molti anni l'impegno nel campo della comunicazione della scienza. Fa parte del comitato scientifico di "Assimetrie", rivista divulgativa dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, e collabora al supplemento domenicale de "Il Sole 24 Ore".

Il suo "Relatività. Principi e applicazioni" (Bollati Boringhieri 2004) è uno dei più diffusi manuali sull'argomento. "Le simmetrie in fisica da Aristotele a Higgs" (Bollati Boringhieri 2013) è stato finalista del Premio Galileo 2014. Ha curato le edizioni italiane di scritti di Dirac e di Einstein.

ANDREA CHINGARINI

Fisico, ricercatore presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Sez. di Genova), dopo una parentesi quinquennale in Germania e negli Stati Uniti ha svolto ricerca nel campo dei rivelatori per onde gravitazionali a partire dagli anni 2000; prima sotto la guida di Emilio Picasso (con rivelatori a cavità superconduttive a radio-frequenza), poi nel gruppo di Roma (sulle antenne criogeniche) ed infine, dal 2008, nella collaborazione VIRGO.

Si occupa principalmente di modelli, analisi dati, elementi finiti e statistica applicati in diversi ambiti della fisica sperimentale che includono, tra l'altro, anche significative ricerche nel campo delle neuroscienze e della fisica medica.

TRACCIATO L'IDENTIKIT DI UN'ONDA GRAVITAZIONALE

Giugno 2015. La buona notizia è che la difficilissima osservazione diretta delle onde gravitazionali è un po' più vicina. Spiegare perché richiede però una premessa e un po' Relatività Generale, che è essenzialmente la teoria della gravità. L'idea-cardine è che la materia curva lo spazio intorno a sé e la curvatura è tanto maggiore quanto più grande è la massa in gioco. Una verifica venne nel 1919 osservando la deviazione dei raggi di luce delle stelle ladi durante una eclisse totale di Sole. Per la verità, Arthur Eddington, che dirigeva la ricerca, forzò un po' i dati ma da allora innumerevoli

conferme si sono aggiunte a quella prima misura. Oggi le lenti gravitazionali sono una spettacolare rappresentazione dello spazio plasmato dalla materia: i raggi di luce delle galassie e delle stelle tracciano meravigliosamente la curvatura dell'ambiente intergalattico che attraversano.

La relatività generale prevede che una massa accelerata emetta onde gravitazionali che si manifestano come increspature dello spazio-tempo, così come un elettrone accelerato emette radiazione elettromagnetica. Quasi tutto ciò che sappiamo dell'universo lo dobbiamo a messaggi

della radiazione elettromagnetica, nelle sue varie bande di frequenza: onde radio, infrarosso, luce visibile, ultravioletto, raggi X e raggi gamma. La radiazione gravitazionale sarebbe un'altra finestra da cui guardare l'universo e anche in questo caso avremmo varie bande, ognuna caratteristica di particolari fenomeni in cui sono coinvolte masse accelerate: stelle che collassano, buchi neri che inghiottono materia, coppie di oggetti ultradensi in rapida rotazione l'uno intorno all'altro, scontri e fusione di stelle di neutroni, lo stesso Big Bang.

Nel 1993 Joseph Taylor e il suo allievo Russell Hulse ebbero il premio Nobel per aver dimostrato la dissipazione di energia gravitazionale in un sistema binario stretto di stelle di neutroni. Sempre dalla teoria, sappiamo che le onde gravitazionali devono propagarsi alla velocità della luce e che, se vogliamo vederle sotto l'aspetto particellare, devono esistere i gravitoni, l'analogo dei fotoni della radiazione elettromagnetica.

Il problema è che, nonostante tante evidenze indirette, una osservazione diretta di onde gravitazionali non c'è ancora. Ma la caccia è aperta e la rete per catturarle ha maglie sempre più strette. Presto i fisici avranno a disposizione antenne gravitazionali che per la prima volta potrebbero essere all'altezza del compito difficilissimo che ne ha ispirato la costruzione.

Ma per fabbricare una trappola adatta a catturare una lepre occorre sapere come una lepre è fatta. Nello stesso modo, per catturare un'onda gravitazionale è necessario avere un'idea il più possibile precisa di ciò che si cerca. Restando nell'analogia con le onde elettromagnetiche, non possiamo osservare una sorgente di luce ultravioletta con un sensore per luce infrarossa.

Si ritiene che una stella che esplode come supernova e collassi in una stella di neutroni trasformi lo 0,1 per cento della massa iniziale in onde gravitazionali con un "timbro" pulsato. L'onda ha caratteristiche diverse a seconda che il collasso sia più o meno simmetrico. Le onde emesse potrebbero andare a 1 a 1000 hertz e avere diversa ampiezza: differenze non da poco se vogliamo un'antenna ben sintonizzata. A ciò si aggiunge la difficoltà tecnologica. Nel caso dell'antenna italo-francese Virgo – situata vicino a Pisa – abbiamo due bracci di tre chilometri, dei quali si cerca di misurare variazioni di lunghezza un miliardo di volte più piccole di un atomo, benché i disturbi (segnali spuri) siano di gran lunga maggiori. La lepre deve essere distinguibile da una quantità di altri animali più grandi che rimangono facilmente presi nella rete.

Tutto questo lungo discorso per introdurre una notizia di cui, senza la premessa, sarebbe difficile apprezzare il valore. La notizia è questa: un lavoro teorico pubblicato su "Physical Review Letters" il

23 aprile 2015 fornisce un dato molto importante ai fisici sperimentali che stanno cercando di osservare onde gravitazionali. I firmatari dell'articolo, tra i quali sono gli italiani Alessandro Nagar e Sebastiano Bernuzzi, hanno calcolato con grande accuratezza le caratteristiche del segnale gravitazionale che verrebbe emesso da un sistema binario di stelle di neutroni nelle sue ultime orbite, quando i due oggetti ultradensi stanno per fondersi in un buco nero.

Conoscere bene questo segnale è indispensabile per estrarlo dal rumore di fondo che lo sovrasta: si tratta infatti di isolare una deformazione dell'antenna gravitazionale dell'ordine di 10 alla meno 22 metri nel caso di una coppia di stelle di neutroni a 600 milioni di anni luce da noi (dieci volte la distanza del Virgo Cluster). Per un confronto, le dimensioni di un protone si collocano intorno a 10 alla meno 15 metri. Le due migliori antenne gravitazionali oggi esistenti, Virgo in Italia vicino a Pisa (una collaborazione italo-francese) e Ligo negli Stati Uniti, stanno completando una fase di aggiornamento che migliorerà di 100 volte la loro sensibilità. Il lavoro appena pubblicato potrà quindi dimostrarsi prezioso entro pochi anni. Possiamo infatti dire, adesso, di conoscere meglio la lepre da cercare dentro la trappola.

Lo studio ha richiesto l'unione di più competenze: Sebastiano Bernuzzi (Università di Parma e CalTech) e Tim Dietrich (Università di Jena) sono due giovani specialisti della soluzione numerica delle equazioni di Einstein con supercomputer. Thibault Damour e Alessandro Nagar (Institut des Hautes Études Scientifiques) hanno sviluppato una descrizione analitica (detta metodo Effective One Body) del moto orbitale e dell'emissione di onde gravitazionali da sistemi binari composti da stelle di neutroni o buchi neri.

Alessandro Nagar, torinese, quarant'anni, lavora in Relatività generale all'IHES di Bures-sur-Yvette vicino a Parigi dal 2007. Si appassionò alla cosmologia dopo aver sentito una conferenza di Dennis Sciama, che fu il maestro di Steven Hawking. Autore di numerose pubblicazioni ad alto impact factor, ha studiato con Pietro Fré e Leonardo Castellani all'Università di Torino, dove ha potuto raccogliere l'eredità di Tullio Regge: un riferimento della sua ricerca è il lavoro ormai classico di Regge e Wheeler del 1957 sulla stabilità di un buco nero di Schwarzschild. E' un campo, questo, nel quale la fisica teorica italiana mantiene una leadership riconosciuta a livello mondiale. Sebastiano Bernuzzi lavora al California Institute of Technology e all'Università di Parma. E' uno dei giovani "cervelli in fuga" riparati all'estero che ora possono tornare in Italia come "ricercatori Levi Montalcini", cioè grazie a un lascito della scopritrice dell'NGF, il fattore di crescita dei neuroni, premio Nobel per la Medicina nel 1986. Da questa estate sarà di nuovo tra noi.

Piero Bianucci
(dal mensile "le Stelle", luglio 2015)

ONDE GRAVITAZIONALI: LA CORSA AL NOBEL

Chi ha scoperto che cosa? A chi toccherà l'eventuale ma probabile Nobel? Dov'è la vera svolta scientifica? Passata la confusione e la frenesia dei media intorno all'annuncio delle onde gravitazionali, sono queste le domande più frequenti dell'attonito lettore e di ogni cittadino che si interessi alla scienza oltre che alla Juventus e al Festival di Sanremo.

Partiamo dall'ultima domanda. La vera svolta scientifica è questa: l'osservazione delle onde gravitazionali offre una nuova finestra per scrutare l'universo e per la prima volta ci ha fatto "vedere" i buchi neri in azione. Qui sta la sua portata rivoluzionaria. Mentre la particella di Higgs ha chiuso una vecchia fisica, quella del Modello Standard delle particelle elementari, le onde dello spazio-tempo ne aprono una nuova: la cosmologia gravitazionale. Che le onde gravitazionali esistessero era certo: Taylor e Hulse le scoprirono negli Anni 70-80 e per questo ebbero il Nobel nel 1993, ma lavorarono su una coppia di stelle di neutroni (pulsar), non su una coppia di buchi neri. La novità è che ora sono stati "visti" due buchi neri mentre si fondono e che le onde gravitazionali emesse nella catastrofe per la prima volta sono state osservate in modo diretto.

Seconda domanda: chi porterà a casa il Nobel per la fisica. Gli scienziati in corsa sono tre – come i posti disponibili sul palcoscenico della Concert Hall di Stoccolma – ma molti meriterebbero di gareggiare, anche se non tutti i mille e più che hanno firmato l'articolo su "Physical Review Letters" in ordine alfabetico dalla A di Abbott alla Z di Zweig. I tre in pole position sono Rainer Weiss, Ronald Drever e Kip Thorne. Molto diversi per profilo e meriti.

Nato a Berlino nel 1932 e ora cittadino americano, professore emerito al MIT, Weiss è il fisico che più si è battuto per mandare avanti il progetto da mezzo miliardo di dollari delle antenne LIGO che il 14 settembre 2015 hanno registrato le onde gravitazionali. Con la relatività generale, gli altri suoi campi di ricerca prediletti sono il fondo di radiazione cosmica lasciato dal Big Bang e la fisica del laser. E' appena il caso di ricordare che le attuali antenne gravitazionali sono interferometri nei quali un raggio laser rimbalza centinaia di volte al secondo tra due specchietti distanti 3 o 4 chilometri.

Ronald Drever ha 85 anni, uno più di Weiss. Nato in Scozia, già professore emerito al California Institute of Technology, al fianco di Weiss è stato co-fondatore di LIGO, dove ha dato un contributo determinante alla stabilizzazione dei laser. Ammalatosi di Alzheimer, ha lasciato gli Stati Uniti per tornare ad abitare in Scozia. Purtroppo, se riceverà il Nobel, avrà difficoltà ad accorgersene. Una terribile lezione della vita e delle sue drammatiche contraddizioni.

Kip Thorne, classe 1940, fisico teorico al California Institute of Technology, benché non abbia più dato contributi scientifici significativi dopo il 1980, è il favorito della lobby americana ed è anche il più folcloristico dei tre. Il grande pubblico lo ha scoperto di recente in qualità di consulente e co-produttore

del film "Interstellar" di Christopher Nolan. Negli Anni 60 si fece notare per visionarie estrapolazioni della relatività generale che non si limitavano ai buchi neri classici, studiati da Oppenheimer già nel 1939 e poi da Wheeler, Regge, Hawking e altri, ma si spingevano fino a ipotizzare viaggi attraverso "cunicoli spazio-temporali" tra universi paralleli e altre arditezze.

Sia Weiss sia Drever, e nel 2009 anche Thorne, sono tra i vincitori della prestigiosa "Medaglia Einstein", un premio che in molti casi è stato l'anticamera del Nobel. Ma ci sarebbero parecchi altri scienziati che meriterebbero l'attenzione di Stoccolma. Tra gli sperimentali, per esempio, il francese Alain Brillet e il nostro Adalberto Giazotto, che lanciarono il progetto dell'antenna italo-francese VIRGO realizzata a Càscina vicino a Pisa (Infn e Cnrs). Sono loro le idee fondamentali per stabilizzare il laser e gli specchi, e quindi per far funzionare le antenne, soluzioni poi adottate in LIGO. Con le prime antenne a cilindro oscillante ideate da Joseph Weber negli Anni 60 in Usa e perfezionate da Edoardo Amaldi e Guido Pizzella negli Anni 80 e 90 al Cern e in Italia, non saremmo andati lontano.

Senza antenne come LIGO e VIRGO, ovvio, non si fa niente. Ma le antenne sono solo la metà di quel che serve, e questa è una cosa che al pubblico non è arrivata. L'altra metà è avere un'idea precisa di ciò che le antenne devono captare. La forza di gravità, pur essendo quella che plasma l'universo e che, comprimendo le nebulose, accende le stelle, è di gran lunga la più debole delle quattro forze fondamentali della natura. Come una particella carica quando accelera emette onde elettromagnetiche, così una massa accelerata emette onde gravitazionali. Ma mentre per produrre onde elettromagnetiche basta il vostro telefonino, per produrre onde gravitazionali percepibili occorre accelerare come minimo stelle di neutroni, meglio buchi neri, meglio ancora far roteare buchi neri fino a fonderli tra loro: nel caso dell'osservazione fatta con LIGO, i buchi neri avevano masse di 29 e 36 volte la massa del Sole (il quale "pesa" quanto 333.000 pianeti come la Terra) e sono state dissipate in onde gravitazionali tre masse solari.

Peccato che, anche con un fenomeno di tale violenza, registrare l'onda gravitazionale corrisponda ad ascoltare il fruscio di un coriandolo che cade nel pieno di un concerto rock. Per riuscirci, occorre conoscere molto bene le caratteristiche sonore di quel fruscio. Nel caso delle onde gravitazionali prodotte dalla fusione di buchi neri, ciò corrisponde a prevedere quanto durerà il segnale (analogo alle onde sollevate da un sasso in un lago) e come si modificherà in ampiezza e frequenza a mano a mano che i buchi neri spiraleggiano intorno al comune baricentro – fino a una velocità di 150 mila km/s (la metà di quella della luce) nel caso osservato con LIGO. Solo un modello affidabile del segnale permetterà di riconoscere la quasi impercettibile

onda gravitazionale nel frastuono del rumore di fondo.

Bene: sui modelli di segnale si è svolto un enorme lavoro di fisici teorici tra la fine degli Anni 90 e il primo decennio del 2000, un lavoro che continua ancora oggi. Costruire il segnale teorico più accurato richiede la sinergia tra due metodi complementari per affrontare il problema partendo dalle equazioni di Einstein: la relatività numerica, cioè la forza bruta dei supercalcolatori lanciati a simulare gli effetti della fusione tra buchi neri, e l'approccio analitico (cioè i calcoli vecchio stile, l'algebra e l'analisi). Il primo è un metodo muscolare: si affida alla potenza dei calcolatori, con costi altissimi. Il secondo è un metodo non muscolare, ma più arguto e raffinato, in grado oggi di produrre gli stessi risultati in modo più veloce ed economico. Nel caso specifico, l'arguzia ha usato la forza bruta a proprio vantaggio, integrandola nel modello analitico per costruire gli accurati identikit di segnali indispensabili per fare la misura.

La spinta originaria sul versante analitico è venuta da un francese, Thibault Damour, classe 1951 (e Medaglia Einstein come Weiss, Drenver e Thorne), affiancato prima da Alessandra Buonanno, già in Maryland e ora al Max Planck Institut for Gravitational Physics a Potsdam, e poi da Alessandro Nagar, torinese, che lavora da dieci anni con Damour all'Institut des Hautes Etudes Scientifiques (IHES) di Parigi. E qui ci imbattiamo in una straordinaria storia di competizione tra cervelli italiani all'estero. Tra il gruppo di Alessandra Buonanno, negli Usa, e Damour-Nagar si è combattuta una lotta durissima, come è peraltro normale avvenga nell'interesse della scienza, per costruire, indipendentemente, il miglior modello analitico possibile della fusione di due buchi neri. E' il modello noto come EOB, "effective-one-body", verso il quale ora tutti convergono.

I primi modelli in grado di rappresentare bene la fusione di buchi neri nelle varie fasi – accelerazione su orbite sempre più strette, tuffo delle due masse l'una contro l'altra, fusione e smorzamento del segnale – sono stati presentati quasi contemporaneamente e indipendentemente da Damour-Nagar e dal gruppo di Alessandra Buonanno all'inizio del 2009. Importante, per il primo, è stato l'apporto di Sebastiano Bernuzzi (ora borsista Levi Montalcini all'Università di Parma) e Donato Bini (Cnr); per il secondo gruppo, il contributo di un ricercatore cinese, Yi Pan, e di Andrea Taracchini per il lavoro di costruzione e implementazione del modello effettivamente utilizzato nell'analisi dei dati. Ciò

che si nota è che, mentre nella collaborazione sperimentale sulle antenne i nomi sono centinaia, nel settore teorico i nomi decisivi si contano su una mano.

In uno spirito un po' provinciale molti hanno acclamato la "scoperta italiana", a cominciare da Renzi con il suo immancabile tweet, passando per scienziati di casa nostra e opinionisti da talk show. In effetti il contributo italiano c'è ed è importante, ma la scoperta – ahimè – l'ha fatta LIGO. L'antenna europea VIRGO – italo-francese – è ancora spenta. Giorgio Parisi, eminente fisico teorico del nostro paese, pochi giorni fa su "Nature" faceva notare che l'Italia contribuisce alla ricerca europea con 900 milioni di euro e ne riporta a casa solo 600. L'appello di Parisi ha raccolto 10 mila firme. Incapacità politica e burocrazia sono all'origine di questo disavanzo. In pratica l'Italia finanzia con 300 milioni/anno la ricerca di altri paesi, mentre i nostri Prin, Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale, hanno avuto 90 milioni dopo tre anni di blocco.

Rimane comunque un grande lavoro da fare. Dopo l'annuncio di LIGO, entro qualche mese sarà VIRGO a contribuire alla conferma e alla statistica. Come nel caso delle rondini, una fusione di buchi neri, per un colpo di fortuna osservata a pochi giorni dalla riaccensione di LIGO proprio con l'identikit previsto – onde con frequenza da 35 a 250 Hz, durata dell'evento meno di mezzo secondo – non fa primavera, benché ci sia una certezza al 99,9 per cento del risultato. Quanto all'astrofisica gravitazionale, in questi giorni la navicella europea LISA Pathfinder ha incominciato a esplorare la fattibilità di interferometri spaziali e nel 2034 se tutto andrà bene avremo eLISA, che farà entrare l'astrofisica gravitazionale nella sua maturità. Da giornalista, un commento sulla comunicazione di tre risultati di Big Science in quest'era di Big Media. Nel 2001 fu la lettura del DNA: l'annunciarono insieme "Nature" e "Science", conferenza stampa del presidente americano Clinton e del premier inglese Blair. Nel 2012 la particella di Higgs: conferenza in diretta mondiale dal CERN ma dopo annunci parziali un po' confusi. Nel 2016 le onde gravitazionali: notizia depotenziata dai tweet del fisico Lawrence Krauss, ripresa da "Science" che ha depistato su "Nature", annunciata da "La Stampa" online l'8 febbraio, due giorni dopo da altri giornali e, infine, dalla conferenza stampa ufficiale.

Piero Bianucci

(da "La Stampa" online, 15 febbraio 2016)

PREMIO
RICERCATORI
UNDER
35

5^a EDIZIONE

Piemonte, Liguria e
Valle d'Aosta

Bando e Regolamento: www.giovediscienza.it