

Potenza della teoria

Pietro Greco

Ha fatto il giro del mondo, dopo un viaggio di 55 milioni di anni. È la prima fotografia di un buco nero. Uno scatto storico, che segna una pietra miliare nello studio del cosmo per due ragioni. Perché spazza via un piccolo pregiudizio secondo cui i buchi neri non possono essere visti proprio perché “neri” e poi dimostra, ancora una volta, la “potenza della teoria”. Insieme alle onde gravitazionali, la foto del buco nero prova - cento anni dopo - che Einstein aveva ragione

È stata definita la fotografia del secolo. È stata scattata lo scorso 10 aprile – ma è più corretto dire, ricostruita – dall’Event Horizon Telescope, una collaborazione internazionale cui partecipano anche centri di ricerca italiani. Riguarda un buco nero. Il buco nero supermassiccio collocato al centro della galassia M87, che a sua volta si trova a 55 milioni di anni luce da noi. In realtà non si tratta di una vera e propria foto di un buco nero. Quello che è stato registrato è, per definizione, invisibile.

È la fotografia di un vuoto apparente e della materia che vi ruota intorno. E poi non è davvero una foto. Perché è la ricostruzione nel visibile dei segnali radio captati e ricomposti da otto diversi radiotelescopi sparsi sulla superficie del nostro pianeta.

Ma questo nulla toglie all’importanza di quell’immagine. Perché è la prima prova diretta dell’esistenza di un oggetto, il buco nero, previsto dalla teoria della relatività generale elaborata nel 1915 da Albert Einstein. Per singolare coincidenza, la foto (o, se volete, la ricostruzione) dell’Event Horizon Telescope cade a cento anni esatti da un’altra immagine, una fotografia scattata il 29 maggio 1919 dall’inglese Arthur Eddington, che costituì la prima conferma empirica della relatività generale e, di lì a poco, fece del suo autore, per dirla con Abraham Pais, «l’improvvisamente famoso dottor Einstein». Lo scienziato e, forse, l’uomo più famoso di ogni tempo. Conosciuto in ogni angolo del nostro pianeta. Un mito ancora oggi inossidabile. Fino a quel 29 maggio c’erano due teorie capaci di spiegare tutti i fatti noti in tema di gravità: la teoria della gravitazione universale di Isaac Newton, consolidata

da un secolo e mezzo di clamorosi successi, e la nuova teoria della relatività generale di Albert Einstein, ancora poco conosciuta. Tra i fisici che la conoscono bene, la nuova teoria di Einstein, c’è Arthur Eddington, che decide di effettuare un’osservazione cruciale per decidere chi, tra Newton ed Einstein, avesse ragione. L’occasione è data da un’eclissi. L’idea è quella di misurare l’angolo della deviazione della luce proveniente da stelle lontane nel passaggio vicino alla massa gravitazionale del Sole. Entrambe le teorie prevedono che la luce delle stelle lontane sia deviata dal grosso corpiccione intorno a cui ruota la Terra. Ma l’angolo di deviazione previsto è diverso. Per la teoria di Einstein deve essere il doppio rispetto a quello della teoria di Newton. Per verificare di quale angolo la luce sarà deviata, dunque, Eddington prepara due spedizioni: una è diretta verso l’isola di Príncipe, la seconda per grandezza di un arcipelago che si trova nel Golfo di Guinea, Africa occidentale, e che oggi forma la Repubblica Democratica di São Tomé e Príncipe; l’altra spedizione è diretta verso Sobral, una località dello stato del Ceará, nel nord est del Brasile. Le spedizioni sono due per raddoppiare la probabilità di osservare l’eclisse e scattare buone foto. Una prudenza premiata. Perché quel 29 maggio a Sobral il cielo è coperto, piove e non c’è possibilità alcuna di osservare e studiare il momentaneo oscuramento del Sole. Va meglio dall’altra parte dell’Atlantico, all’isola di Príncipe. Il gruppo di ricerca inglese riesce a scattare alcune fotografie della luce proveniente da un gruppo di stelle chiamate Iadi. Il ritorno in Inghilterra richiede tempo. Lo sviluppo delle la-



stre tempo e bravura. L'interpretazione bravura e rigore, perché le fotografie ottenute non sono affatto nitide. Ma Eddington è sicuro di sé. E il 6 novembre del 1919 si reca alla Royal Society di Londra per emettere il suo verdetto: ha ragione Einstein. «Detronizzato Isaac Newton», titola l'indomani il quotidiano *The Times*. «Tutte storte le luci in cielo. Trionfa la teoria di Einstein. Le stelle non sono dove sembrava o si era calcolato che fossero», rilancia l'8 novembre *The New York Times*. E così Einstein diventa all'improvviso noto in tutto il mondo. Un'autentica star. Potenza della teoria. Non (solo) nel senso mediatico. Ma (soprattutto) nel senso strettamente scientifico. Un impianto teorico molto lontano dal senso comune e fondato su un apparato matematico estremamente complesso (i tensori e il calcolo differenziale assoluto di Gregorio Ricci Curbastro e del suo allievo, Tullio Levi Civita) aveva fatto una previsione precisa. E quella previsione era stata verificata. Decisamente Einstein meritava la fama, anche popolare, acquisita.

Ma la deviazione della luce da parte di grandi masse gravitazionali non era l'unica previsione contenuta nella teoria della relatività. Tra molte altre, ce ne sono due che hanno dovuto attendere molto tempo prima di poter essere empiricamente verificate. Nella tarda estate 2015 – il 14 settembre 2015, alle 11:50:45 ora italiana, per la precisione –, a cento anni esatti, dunque, dalla formulazione della relatività generale, il gruppo internazionale LIGO/VIRGO rileva onde gravitazionali causate dallo scontro alla velocità di 150.000 km/s (la metà della velocità della

La potenza della teoria è tanto più evidente quanto più tempo passa prima della sua verifica empirica

luce) con conseguente fusione di due imponenti oggetti cosmici: due buchi neri con una massa equivalente di circa 29 e 36 masse solari, per un totale di 65 masse solari. La fusione crea un unico buco nero ruotante con una massa pari a 62 masse solari. Le tre masse solari mancanti al totale della somma si trasformano in energia che si diffonde sotto forma di onde gravitazionali. Dopo aver viaggiato 1,5 miliardi di anni alla velocità della luce, le onde

gravitazionali di quel titanico scontro sono state rilevate dai sofisticati interferometri della collaborazione LIGO/VIRGO. In realtà, le onde vengono captate dai due interferometri LIGO americani, mentre VIRGO in Italia



Fra gli esempi che dimostrano la potenza della teoria, la verifica empirica negli ultimi anni delle idee di Pontecorvo e Higgs

è, per sfortuna, spento. Attente, le verifiche. E poi l'11 febbraio 2016 l'annuncio pubblico: Einstein aveva ragione. La teoria della relatività generale, infatti, prevede che le onde gravitazionali esistano. Si tratta di onde in quel mare speciale che è lo spaziotempo. Secondo Einstein, le masse gravitazionali perturbano questo mare, altrimenti piatto. E quando ci sono eventi titanici, come lo scontro tra due buchi neri a una velocità incredibile, prossima a quella della luce, le onde gravitazionali generate diventano rilevabili. Il guaio è che anche in questi casi non è affatto semplice rilevarle. Lo stesso Einstein riteneva che loro esistenza non sarebbero mai stata empiricamente dimostrata. E, in effetti, è dovuto passare un secolo prima che la sua teoria potesse dimostrare ancora una volta la sua straordinaria potenza.

E sono dovuti passare un secolo, tre anni e qualche mese prima che un'altra delle previsioni contenute nella relatività generale – l'esistenza dei buchi neri – potesse essere confermata in maniera diretta. Anche i buchi neri sono figli naturali della relatività generale. Nel senso che sono previsti dalla teoria di Einstein. Si tratta di oggetti dotati di una forza di gravità così grande da riuscire a curvare lo spaziotempo fino a farlo chiudere su sé stesso. In altri termini, sono pozzi gravitazionali che inghiottono tutto e non lasciano scappare via nulla da sé, neppure la luce. Di qui il nome, buchi neri. Proprio a causa di questa loro peculiare e tragica caratteristica, l'essere per definizione invisibili, i buchi neri sono stati per lungo tempo oggetti virtuali. Previsti dalla teoria fondamentale della gravitazione, ma impossibili da osservare. È vero, da almeno un paio di decenni gli astrofisici hanno tuttavia iniziato a individuarli in maniera chiara, "pesando" i loro tremendi effetti sull'ambiente che li circonda. Ma, per quanto



rigorose, si trattava pur sempre di osservazioni indirette. Grazie poi a una serie di potenti strumenti collocati nello spazio, è stato possibile infatti individuare la presenza di buchi neri giganti (con una massa pari a centinaia di milioni di volte quella del nostro Sole) al centro della Via Lattea e in molti luoghi dell'universo, "ascoltando" il lancinante lamento che la materia si lascia sfuggire, sotto forma di raggi X caratteristici, mentre sta per cadere in uno di quei pozzi gravitazionali e scomparire "per sempre" dal nostro universo. Quel "per sempre" dal nostro universo è probabilmente una notazione inesatta. I buchi neri, ha dimostrato per via teorica Stephen Hawking, posso "evaporare", ovvero perdere materia attraverso dei complessi meccanismi di tipo quantistico. Ma non entriamo in questi dettagli. Diciamo solo che anche dei buchi neri giganti abbiamo prove di esistenza chiare ma indirette.

O meglio, avevamo, perché la nuova "fotografia del secolo" ricostruita dall'Event Horizon Telescope ora ci ha fornito la prova diretta dell'esistenza dei buchi neri. Ancora una volta, la teoria ha avuto bisogno di un secolo e più per dimostrare la sua potenza predittiva. Finora abbiamo parlato di Einstein e di relatività generale.

Ma la "potenza della teoria" non riguarda solo quella maestosa cattedrale composta però, almeno a detta del suo stesso autore, per metà di marmo pregiato e per l'altra di legno scadente. È una cattedrale maestosa, ma in attesa di essere completata. Fuor di metafora: Einstein era alla ricerca di una teoria più generale, una teoria finale: in grado di unificare la relatività generale con l'altra grande teoria della fisica, la meccanica quantistica. Ancora oggi molti fisici sono alla ricerca di questo Sacro Graal.

Ma torniamo al nostro discorso. Ed estendiamo la nostra ricostruzione della potenza della teoria, che è tanto più evidente quanto più tempo passa prima della sua verifica empirica. È il caso, per esempio, della teoria elaborata da Bruno Pontecorvo sulla "oscillazione" dei neutrini. Il fisico italiano allievo di Enrico Fermi ha ipotizzato negli anni '50 del secolo scorso che i tre tipi di neutrini esistenti pos-

sano "oscillare", ossia trasformarsi l'uno nell'altro, viaggiando nello spazio.

E se la teoria dell'"oscillazione" è vera, allora ne discende che queste elusive particelle debbano avere una massa, per quanto piccola. Ora, si dà il caso che il Modello Standard delle Alte Energie preveda che il neutrino abbia massa zero. La scommessa di Pontecorvo è, dunque, molto alta. La teoria che spiega il comportamento delle particelle fondamentali dell'universo dice una cosa, lui dice il contrario. Poco importa che Pontecorvo abbia parlato dell'"oscillazione" dei neutrini nel 1957, prima che il Modello Standard delle Alte Energie fosse elaborato compiutamente, intorno agli anni '60. Resta il fatto che le due teorie sono in contraddizione. O meglio, lo sono state. Perché la contraddizione è stata risolta nel 1998 (41 anni dopo l'ipotesi di Pontecorvo) grazie a un esperimento giapponese, noto come Kamiokande. Una conferma ulteriore e, per molti versi, decisiva della "oscillazione" dei neutrini è avvenuta nel 2010 grazie alla collaborazione OPERA, tra il CERN e i Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Anche la potenza della teoria di Pontecorvo ha dovuto attendere alcuni decenni prima di potersi manifestare. Il risultato è che ora abbiamo una prova in più (e che prova) che il Modello Standard delle Alte Energie è incompleto. Non ci dice tutto sulla fisica delle particelle. A proposito di Modello Standard, per quanto incompleto costituisce una teoria molto importante e compatta. Con un elemento centrale, il bosone di Higgs, previsto per via teorica all'inizio degli anni '60 del secolo scorso da Peter Higgs (la storia è più complessa e anche altri sono intervenuti). Ma quella previsione teorica ha dovuto attendere mezzo secolo prima di poter essere dimostrata per via sperimentale. Il bosone di Higgs è stato rilevato al CERN di Ginevra da due esperimenti indipendenti (Atlas e MCS) e la sua scoperta è stata annunciata a Ginevra nel 2012 da Fabiola Gianotti. Anche nel caso della previsione di Peter Higgs siamo di fronte a una manifestazione della potenza della teoria – ovvero della potenza del pensiero umano – che si

manifesta anche a distanza di decenni. La scienza moderna cammina, necessariamente, su due gambe. Quelle che Galileo Galilei chiamava “certe dimostrazioni” (le teorie ben fondate) e le “sensate esperienze” (le esperienze fatte con i sensi, ovvero i fatti). Nessuna di queste due gambe da sola può far procedere in avanti la scienza. Le “certe dimostrazioni” restano elaborazioni astratte fino a quando non trovano una conferma nei fatti sperimentali. E le “sensate esperienze” restano sostanzialmente curiosità finché non sono collocate in un quadro teorico solido. Spesso tuttavia le “certe dimostrazioni” sono così solide da essere considerate, agli occhi degli stessi fisici, assolutamente certe anche in assenza delle prove sperimentali.

«Mi sarebbe dispiaciuto per il buon Dio, perché la teoria è corretta», disse Einstein a una studentessa che le chiedeva cosa avrebbe pensato se Eddington il 29 maggio 1919 non avesse misurato la deviazione della luce da parte della massa gravitazionale del Sole dell'angolo giusto. Insomma, molti fisici credono nella potenza della teoria. In primo luogo perché ormai le loro teorie hanno un impianto matematico molto solido. Dunque la fiducia nella potenza della teoria deriva dalla constatazione, per dirla con Eugene Wigner, della «irragionevole efficacia della matematica nella descrizione della natura». Gli esempi che abbiamo ricordato dimostrano che questa fiducia è ben riposta. Ma possiamo essere confidenti che sia sempre ben riposta? La domanda è di estrema attualità. Perché oggi esistono diverse teorie – comprese quelle che vanno nella direzione auspicata da Einstein di conciliare relatività generale e meccanica quantistica – con apparati matematici molto complessi, ma con la possibilità molto remota di verificare per via sperimentale le loro previsioni. Quanto dobbiamo credere a queste teorie? Non c'è una risposta a questa domanda. O, almeno, non c'è una risposta fino a quando le proposte teoriche non verranno verificate. Tuttavia una carta ulteriore da giocare esiste: la bellezza. Se una teoria fisica è elegante, diceva il fisico inglese di origini francesi, allora è vera.