"Ascoltare" l'universo: la rivoluzione delle onde gravitazionali. Intervista a Eugenio Coccia

di Antonio Francesco Di Lauro

18-05-2026

Il 9 e 10 maggio 2026 si è svolta a Pescara la seconda edizione di PescaraScienza, il festival della ricerca e della divulgazione scientifica organizzato da ScienzAperta ETS. Intitolata "Dai Dati alla FilosofIA", l'edizione ha dato luogo a una riflessione corale sulla natura dell'intelligenza artificiale e sulle sue applicazioni nei diversi campi del sapere, con il contributo di scienziati, ricercatori, divulgatori e rappresentanti del mondo imprenditoriale.
Per approfondire questi temi - con particolare riferimento alla fisica gravitazionale e all'astronomia delle onde gravitazionali - abbiamo intervistato Eugenio Coccia, Direttore dell'Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) di Barcellona. Coccia è tra i protagonisti della prima osservazione diretta delle onde gravitazionali e delle fusioni di buchi neri e ha condotto esperimenti sulla ricerca di onde gravitazionali al CERN e presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN. È inoltre fondatore e primo Rettore del Gran Sasso Science Institute dell'Aquila (GSSI).

Il 7 gennaio 1610 Galileo Galilei punta il cannocchiale verso il cielo e per la prima volta l'umanità acquisisce coscienza della propria posizione nell'universo. Alcuni secoli dopo, precisamente il 14 settembre 2015, un gruppo internazionale di fisici rileva il passaggio sulla Terra di un'onda gravitazionale, generata a un miliardo e trecento milioni di anni luce di distanza. Una tappa che segna uno spartiacque altrettanto profondo. Che relazione esiste fra questi due momenti?
Eugenio Coccia: Nel caso di Galileo, per la prima volta nella storia si smise di guardare al cosmo ad occhio nudo e lo si fece con uno strumento nuovo, capace di rivelare ciò che nessuno aveva mai osservato, né tantomeno previsto in alcun testo autorevole: dai crateri della Luna ai satelliti di Giove, fino alle fasi di Venere, ciascuna di queste scoperte - rese possibili soltanto dal cannocchiale - contraddiceva il modello cosmologico aristotelico-tolemaico dominante da secoli. È stata una vera e propria svolta culturale in cui l'uomo, messo di fronte alla propria ignoranza, ha dato impulso a una nuova stagione di ricerca. Con la seconda scoperta si può affermare che l'uomo abbia compiuto un ulteriore, decisivo, passo avanti nella comprensione del cosmo. La prima rilevazione diretta delle onde gravitazionali, resa possibile dai detector interferometrici LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), collocati uno a Hanford, nello stato di Washington, e uno a Livingston, in Louisiana, è stato un evento senza precedenti. Sul piano simbolico, ha segnato una svolta di portata non inferiore a quella galileiana, permettendoci non più soltanto di percepire l'universo con "la vista", ma anche con "l'udito": le perturbazioni dello spazio-tempo presentano un'analogia funzionale con le vibrazioni acustiche. Naturalmente, nell'universo non esiste un mezzo materiale, come l'aria sulla Terra, che consente la propagazione delle onde sonore meccaniche, ma credo che la similitudine sensoriale renda comunque bene l'essenza del concetto. Va aggiunto che la luce e le altre radiazioni elettromagnetiche che riceviamo dall'universo sono generate da atti elementari incoerenti - singoli atomi o elettroni che emettono fotoni di lunghezza d'onda molto più piccola delle dimensioni della sorgente astrofisica che li ha generati, e in modo indipendente gli uni dagli altri. Le onde gravitazionali, al contrario, nascono dal moto coerente di enormi quantità di materia, come nel caso della fusione di due buchi neri, e la lunghezza d'onda emessa è dello stesso

ordine di grandezza delle dimensioni degli oggetti in gioco. Questo le rende portatrici di informazioni radicalmente diverse da quelle veicolate dalla luce, dai raggi cosmici, dai neutrini o da qualsiasi altro tipo di messaggero cosmico finora noto. Si apre così una nuova astronomia capace di osservare l'universo attraverso un canale del tutto inedito.

L'interferometro è utilizzato per rilevare il passaggio delle onde gravitazionali. Nel dettaglio, come agisce questo strumento nell'isolare il segnale da altre vibrazioni?
Eugenio Coccia: Se consideriamo le onde gravitazionali perturbazioni dello spazio-tempo capaci di modificare le distanze fisiche tra gli oggetti, l'interferometria altro non rappresenta che il metodo con cui misuriamo tali variazioni di distanza. In questo procedimento il raggio laser funge da metro di misura poiché, essendo la velocità della luce costante e invariabile, se la lunghezza di un braccio dell'interferometro aumenta, la luce impiega un tempo leggermente maggiore per rimbalzare da uno specchio all'altro; se invece il braccio si accorcia, ne impiega uno leggermente minore. L'interferometro misura, dunque, la differenza di distanza tra i suoi due bracci perpendicolari: quando un'onda gravitazionale attraversa lo strumento, allunga uno dei bracci e accorcia l'altro, modificando il cammino ottico percorso dalla luce in ciascuno di essi. Quando i due fasci, che hanno una origine comune, si ricombinano, avendo viaggiato su percorsi di lunghezza diversa, generano una figura di interferenza che cambia rispetto alla condizione di riposo - ed è precisamente in questa variazione che si nasconde il segnale dell'onda gravitazionale.

Un tema oggi al centro della ricerca astrofisica è quello dei buchi neri, oggetti cosmici che nascono dal collasso gravitazionale di stelle di grande massa. Cosa sappiamo sulla loro struttura e dove si trovano i limiti attuali della nostra capacità di descriverli fisicamente?
Eugenio Coccia: Anzitutto, grazie alle onde gravitazionali, sappiamo della loro esistenza. Fino a tempi recenti avevamo una conoscenza scarsa dei buchi neri, poiché indiretta: eravamo in grado di osservare soltanto la radiazione elettromagnetica emessa dal materiale di una stella che veniva risucchiata, vorticando e diventando incandescente, attorno a un oggetto di massa notevole e di estensione piuttosto limitata. Da qui il sospetto che potesse trattarsi di un buco nero. Attraverso le onde gravitazionali, invece, il buco nero si manifesta per ciò che lo caratterizza più profondamente, la deformazione dello spazio-tempo. Senza emettere fotoni, semplicemente vorticando intorno a un altro buco nero fino a fondersi con esso, ciò che ci giunge di questo processo - che dura appena una frazione di secondo - è la vibrazione dello spazio-tempo conseguente alla fusione. È un segnale diretto della loro presenza e della loro esistenza. La forma dell'onda, inoltre, ci restituisce informazioni sulla massa dei buchi neri coinvolti, sulla variazione dell'orbita nel tempo e sul loro spin, consentendoci di ricostruire una vera e propria anagrafe dei buchi neri nell'universo e di mettere alla prova, con dati inediti, alcune delle predizioni fondamentali della relatività generale di Einstein.
Un elemento che ci ha sorpreso è che i buchi neri sembrano essere molti di più di quanti pensassimo e con masse talvolta nettamente superiori a quelle previste. Osservando un buco nero nato dal collasso di una stella, è difficile spiegare come possa avere una massa pari a cinquanta o addirittura cento volte quella del Sole. Questo ci ha indotto a ipotizzare l'esistenza di buchi neri di seconda o terza generazione, nati da fusioni di buchi neri preesistenti. E da qui sorge un'altra domanda: potrebbero questi oggetti essere una componente della materia oscura? Non avevamo mai considerato prima questa ipotesi perché se ci fossero molti buchi neri, tutti figli di collassi stellari ed esplosioni di supernove, l'universo dovrebbe contenere molti più elementi pesanti di quanti ne osserviamo realmente, mentre buchi neri di quella generazione non lascerebbero traccia nei residui stellari e potrebbero dunque giustificare la loro appartenenza alla materia oscura. Quali siano esattamente i buchi neri che stiamo rilevando oggi non è ancora possibile stabilirlo. E questa, a mio

avviso, è una delle scoperte più affascinanti che ci si prospetta.

Secondo alcune visioni, i buchi neri costituiscono anche il luogo in cui la teoria della relatività generale e quella della meccanica quantistica si incontrano. In che modo emergerebbe un possibile punto di contatto tra le due teorie?
Eugenio Coccia: In effetti, una delle possibilità è che i buchi neri, evaporando lentamente nel tempo per effetto della cosiddetta radiazione di Hawking, possano nella loro fase finale dar luogo a esplosioni. Si tratta di un processo che porta con sé una domanda fondamentale: che fine fa l'informazione che il buco nero ha inghiottito? I due elementi cruciali sono, da un lato, l'interpretazione dell'entropia (che misura quanta informazione è necessaria per descrivere un sistema) del buco nero come proporzionale alla sua superficie anziché al suo volume, e dall'altro la scoperta che quella superficie può essere misurata in termini di bit di informazione, ovvero come il numero di quanti di superficie in unità di lunghezza di Planck (la minima lunghezza fisicamente concepibile) che la compongono. In altre parole, la superficie del buco nero sembrerebbe codificare, in forma discreta, tutta l'informazione relativa a ciò che contiene.
Da qui prende le mosse la teoria olografica. A darle fondamento matematico è stata la dualità scoperta dal fisico argentino Juan Maldacena nel 1997, che dimostrò che tutto ciò che accade in un volume di spazio, compresa la gravità, può essere descritto in modo completo ed equivalente da una teoria quantistica che vive sulla sua superficie. Le due descrizioni sono diverse, ma contengono la medesima informazione fisica. Ciò ricorda esattamente ciò che accade sulla superficie di un ologramma, che conserva in due dimensioni tutta l'informazione necessaria a ricostruire un'immagine tridimensionale. Questa scoperta potrebbe aprire una via per riconciliare la relatività generale con la meccanica quantistica; dunque, la gravità non sarebbe una interazione fondamentale, ma emergerebbe come conseguenza della teoria quantistica, che risulterebbe quella fondamentale. Ciononostante, credo che le onde gravitazionali siano ancora lontane dal poter testimoniare tutto questo.

Guardando agli strumenti di nuova generazione disponibili, quali prospettive di ricerca si aprono dalla combinazione tra la loro sensibilità e le capacità analitiche dell'intelligenza artificiale?
Eugenio Coccia: Un caso particolarmente interessante è quello degli interferometri. Bisogna, infatti, considerare che con la prossima generazione di interferometri saremo in grado di ricevere centinaia, forse migliaia di segnali al giorno. Il Gran Sasso Science Institute ha già sviluppato sistemi di intelligenza artificiale capaci di filtrare le vibrazioni ambientali che disturbano gli interferometri - rumori sismici, fluttuazioni termiche, disturbi antropici - portando il detector Virgo a intercettare segnali che fino a oggi restavano al di sotto della soglia di rilevamento. La possibilità di addestrare algoritmi a riconoscere e classificare automaticamente i segnali gravitazionali - distinguendoli dal rumore di fondo e identificandone le caratteristiche fisiche - è qualcosa di chiaramente rivoluzionario, che altrimenti richiederebbe un lavoro interminabile a intere équipe di fisici. Si tratterà, a mio avviso, di una delle applicazioni più spettacolari dell'intelligenza artificiale applicata alla scienza. A osservare tutti questi segnali puntano strumenti nuovi, come l'Einstein Telescope, il futuro osservatorio europeo di terza generazione, attualmente in fase di progettazione, che grazie alla sua sensibilità enormemente superiore ci consentirà di spingerci a osservare l'universo fino alle epoche più remote, precedenti la formazione delle prime stelle. Se rileveremo buchi neri a distanze tali che in quell'epoca le stelle non esistevano ancora, la teoria dei buchi neri primordiali acquisterà credibilità concreta. E con essa l'ipotesi che la materia oscura possa presentarsi, almeno in parte, proprio sotto questa forma.