



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



scienzapertutti.infn.it

le onde

Concorso ScienzaPerTutti 2017/2018

La recente scoperta delle onde gravitazionali, che ha condotto all'assegnazione dell'ultimo premio Nobel della Fisica, ha guidato la scelta dell'argomento del Concorso Scuole di quest'anno.

Onde e fenomeni ondulatori sono espressioni della realtà in cui viviamo che si possono manifestare nelle forme più diverse e più o meno evidenti.

Come ogni anno, invitiamo studenti e docenti ad affrontare e sviluppare l'argomento nelle modalità e prospettive più stimolanti, lasciando massima libertà di espressione nella sottomissione di elaborati, disegni, foto o video.

Approfondimento di Paolo Lenisa

La prima rappresentazione della natura con il numero



È probabilmente il suono emesso da una lira che ha fatto intuire all'uomo la possibilità di descrivere la natura tramite i numeri.

Viaggiando nei centri di Babilonia ed Egitto prima di stabilirsi nell'Italia meridionale, Pitagora fu introdotto a insegnamenti antichi sul potere del numero. La mente di Pitagora, formulò un teorema molto semplice di valore cosmico. La leggenda narra che mentre passava davanti alla bottega di un fabbro, udì diverse note emesse dal suono delle incudini. Pitagora associò la variazione dei toni ai diversi pesi dei martelli. Sperimentando su toni e proporzioni musicali, giunse a una delle scoperte più importanti di tutti i tempi. Nella sua ricerca sui rapporti degli intervalli musicali (un intervallo è la distanza tra due note "assonanti"), Pitagora impiegò la lira e il monocordo, uno strumento a una corda che presentava tasti a varie lunghezze. Fermando la corda esattamente a metà strada, egli riusciva a produrre un intervallo di un'ottava, associandolo a un rapporto tra la lunghezza delle corde 1:2. Dividendo la corda a varie lunghezze, era in grado di produrre intervalli di quarta, di quinta e così via. La teoria era che la frequenza vibratoria di una corda allungata è inversamente proporzionale alla sua lunghezza. Questa affermazione, fondamentale nonostante i Pitagorici non avessero modo di misurare effettivamente le vibrazioni dei toni, ha gettato le basi per lo sviluppo della scienza acustica fisica. Assegnando dati matematici come base per un suono armonioso, Pitagora stava andando contro la persuasione che l'armonia piacevole fosse solamente una questione di gusto e istinto.

Pitagora e i suoi seguaci andarono oltre, concependo l'intero Universo come una vasta lira, in cui ogni pianeta, vibrando a una frequenza specifica, in relazioni simili a quella della corda del monocordo, si armonizzasse con gli altri corpi celesti per creare una "musica delle sfere". Questo concetto, durato per secoli, è dissolto solamente alla fine del 1600 dalla teoria della gravità di Newton.

La *Grande Onda di Kanagawa*, una delle opere d'arte non occidentali più conosciute al mondo, è opera dell'artista giapponese Hokusai, nato a Tokyo nel 1760 che la realizzò negli anni Trenta dell'Ottocento con una tecnica di stampa su legno in stile Ukiyo-e, cioè dai soggetti leggeri adatti alla classe borghese.

La *Grande Onda* raffigura un tratto di mare molto agitato in cui navigano due barche di pescatori, vicino a Kanagawa (nei dintorni di Tokyo). Sullo sfondo si vede il Monte Fuji, il monte più alto del Giappone, raffigurato con lo stesso colore del mare. L'opera mescola tratti tipici dell'arte orientale, come il profilo delle barche e dei pescatori, a tratti tipicamente occidentali, come l'uso della prospettiva per raffigurare il Monte Fuji. Grazie a una specie di gioco artistico, la spuma generata dall'onda al centro del dipinto, può essere confusa con i fiocchi di neve che cadono sul Monte Fuji, la cui cima è innevata. In molti hanno ipotizzato che il "protagonista" del dipinto non sia l'onda, come capita di pensare a chiunque osservi il quadro inizialmente: in Giappone infatti è abitudine leggere e osservare le immagini da destra a sinistra, e questo potrebbe indicare che Hokusai volesse attirare l'attenzione sulle difficoltà dei pescatori.

Qualche storico dell'arte lega la diffusione della *Grande Onda* nel mondo occidentale a uno tsunami che avvenne nel nord del Giappone il 15 giugno 1896, che causò la morte di oltre ventimila persone. In seguito a quell'evento cominciò a diffondersi in Occidente la parola 'tsunami', che venne presto associata alla *Grande Onda*, nonostante non raffiguri davvero uno tsunami, ma solamente un tratto di mare molto agitato.

La grande popolarità contemporanea dell'opera di Hokusai è legata anche all'immediatezza del suo soggetto, alla sua semplicità e al richiamo del tema naturale e delle sfumature di colore attraenti e omogenee. L'immagine ottenne un successo così esteso proprio perché il pubblico europeo, inclusi gli artisti, non avevano mai visto niente di simile: né in termini di materiali né in termini di stampa su legno.



Il fascino discreto
dell'arte Orientale



Le meraviglie di un anonimo canale scozzese

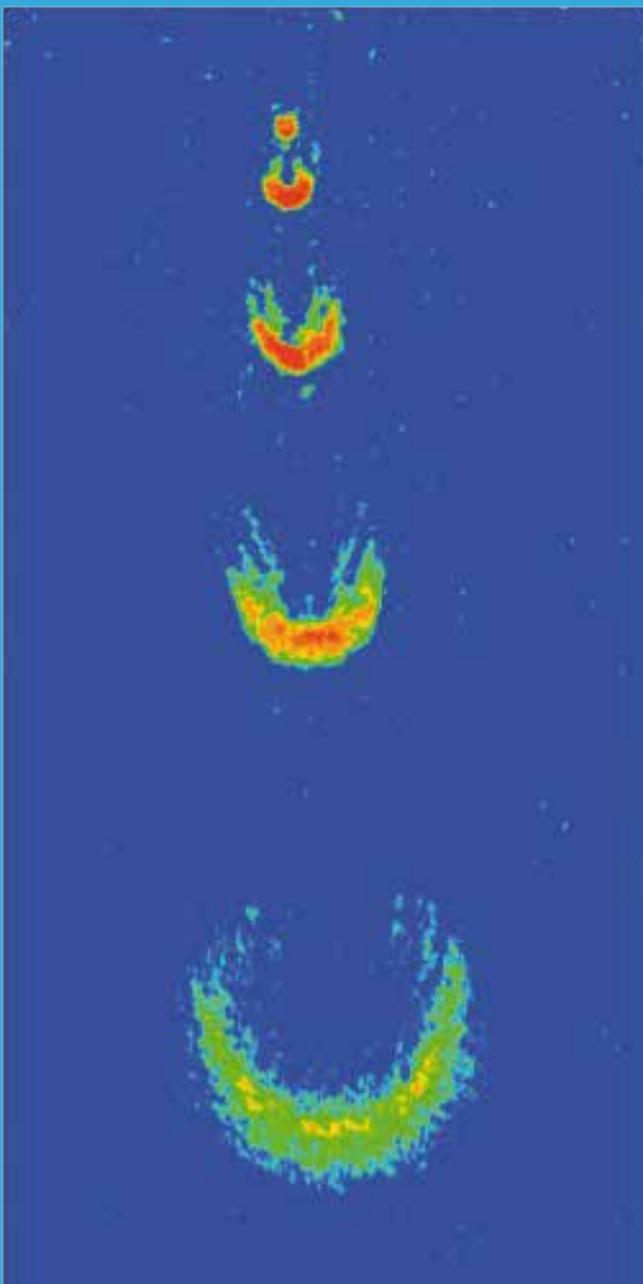
Nel 1834, mentre conduceva degli esperimenti per determinare la struttura più efficiente per le barche del canale, l'ingegnere scozzese John Scott Russell scoprì un fenomeno che descrisse come *onda di traslazione*. In fluidodinamica tale onda è detta *onda solitaria di Scott Russell* o *solitone*.

Nelle sue parole: «Stavo osservando il moto di un battello che veniva trainato rapidamente lungo uno stretto canale da un paio di cavalli, quando il battello improvvisamente si fermò; non altrettanto fece la massa d'acqua del canale che esso aveva messo in moto; essa si accumulò attorno alla prua del battello in uno stato di violenta agitazione, dopo di che mosse in avanti con grande velocità, assumendo la forma di una grande solitaria elevazione, un cumulo d'acqua arrotondato e ben definito che continuò la sua corsa lungo il canale, apparentemente senza mutamento di forma o riduzione di velocità».

Scott Russell dedicò del tempo a studiare questo tipo di onde, costruendo delle cisterne in cui simulare il moto ondoso e prendendo nota di alcune proprietà fondamentali. Mentre le onde normali, tendono ad appiattirsi oppure ad innalzarsi e frantumarsi, questo tipo di onda risulta stabile e può percorrere notevoli distanze. A differenza delle onde normali, questa onda non si fonde mai insieme ad altre e così un'onda piccola può essere "superata" da una grande, piuttosto che unirsi ad essa. Se un'onda è troppo grande a causa della profondità dell'acqua, essa si divide in due, una grande e una piccola.

Si è dovuto attendere l'era informatica con i moderni calcolatori per capire appieno l'importanza della scoperta di Scott Russell per la fisica, l'elettronica, la biologia e in particolare le fibre ottiche con conseguente consolidamento della moderna teoria generale dei solitoni.

Il laser atomico

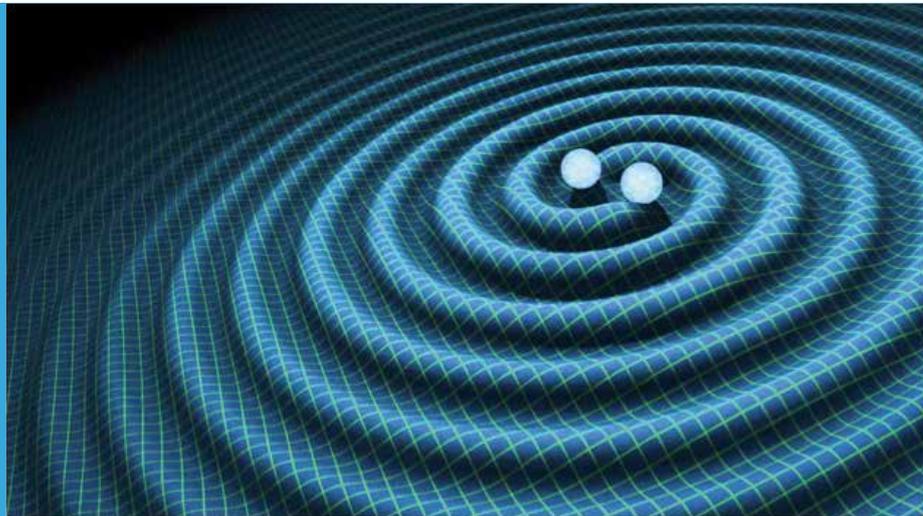


Un condensato Bose-Einstein è uno stato di materia che si verifica per gli atomi di alcuni gas raffreddati a temperature molto prossime allo zero assoluto. In tali condizioni, una grande frazione di atomi va a occupare lo stesso stato quantistico di più bassa energia. A questo punto si manifestano fenomeni quantistici a livello macroscopico legati all'interferenza delle onde funzionali di materia dei singoli atomi. Questo stato è stato previsto nel 1924 da S. N. Bose e A. Einstein e realizzato per la prima volta sperimentalmente nel 1995 da alcuni scienziati americani.

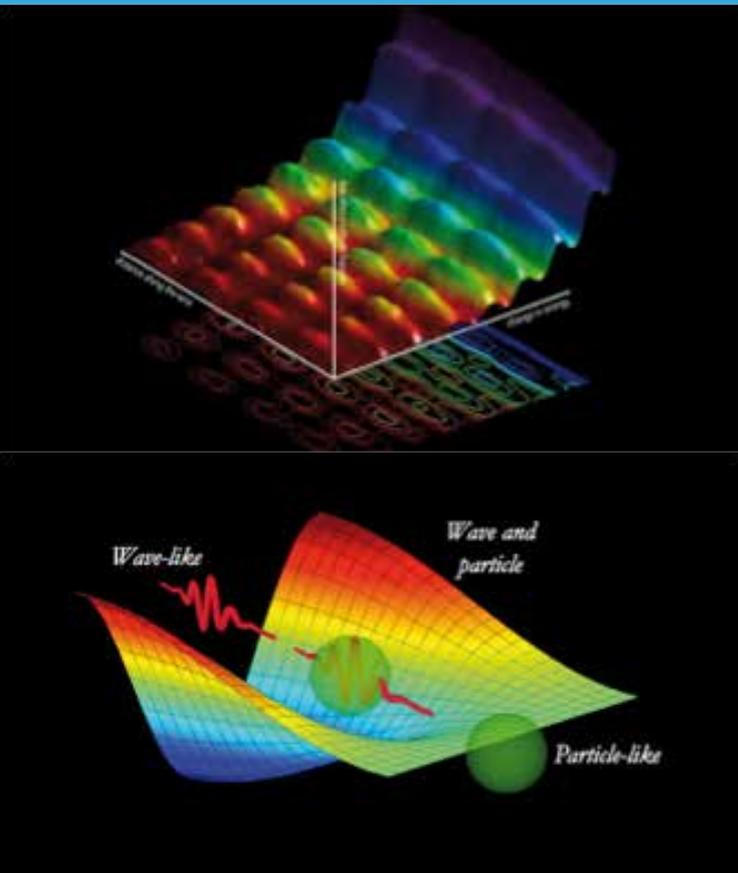
Un condensato di Bose-Einstein è il punto di partenza per la realizzazione del "laser atomico". Molto simile a un laser ottico, un laser atomico è un fascio coerente di materia che si comporta come un'onda. Un condensato di Bose di atomi di sodio viene inizialmente intrappolato tra le due bobine di un campo magnetico. Questa situazione, che rappresenta un'onda di materia limitata da "specchi magnetici", è analoga a quella di un'onda elettromagnetica confinata tra due specchi ottici di una cavità laser. Nella situazione di intrappolamento i momenti magnetici degli atomi sono allineati anti-parallelamente al campo magnetico. Utilizzando campo magnetico impulsato, il momento magnetico di una frazione degli atomi può essere capovolto. Gli atomi non più confinati nella trappola magnetica, cominciano a propagarsi nello spazio come un'unica onda coerente di materia sottoposta all'accelerazione di gravità. L'immagine (campo visivo: 2,5 mm x 5 mm) mostra diversi impulsi in propagazione.

La scoperta delle onde gravitazionali è la conferma di una previsione effettuata cento anni fa da Einstein, attraverso una delle teorie più rivoluzionarie nello stravolgimento del senso comune: la relatività generale. L'idea chiave di questa teoria è che la gravità non sia una forza ordinaria, ma piuttosto una proprietà della geometria dello spazio-tempo. Si pensi a uno spazio vuoto senza forze che agiscano tra i corpi in esso presenti. In questa situazione, la meccanica classica prevede che i corpi si muovano lungo linee rette a velocità costante. Per la fisica classica, affinché una particella si discosti dallo stato di moto rettilineo uniforme, deve esistere una forza che agisca su di essa: le forze accelerano le particelle, e variandone la velocità, possono discostare la loro traiettoria da quella rettilinea e originare traiettorie curve. C'è però un'altra possibilità in cui due particelle con traiettorie inizialmente parallele, si trovino a convergere in un unico punto: le due particelle potrebbero muoversi sulla superficie di una sfera.

Perturbazioni dello spazio tempo



La teoria di Einstein è analoga a questa situazione. Mentre nella teoria di Newton, è la forza di gravità a deviare le particelle dalla traiettoria rettilinea, nella teoria della relatività generale di Einstein, la gravità è una distorsione dello spazio-tempo. Conseguenza di spazio e tempo intesi non come strutture rigide, ma come oggetti dinamici, è che la relatività generale prevede fenomeni fondamentalmente nuovi. Uno dei più affascinanti è l'esistenza delle onde gravitazionali. Nelle onde sonore, una piccola regione di aria viene compressa, e il fatto che la pressione in una regione sia leggermente più alta di quella delle regioni confinanti porta alla sua espansione. Questa espansione porta a una compressione nelle vicinanze, e in questo modo, la leggera eccedenza in pressione si propaga ulteriormente. Nelle onde gravitazionali, anche se la situazione è diversa, il principio di base è lo stesso: una leggera distorsione in una regione dello spazio-tempo perturba le regioni vicine, e il risultato è una propagazione della distorsione dello spazio-tempo.



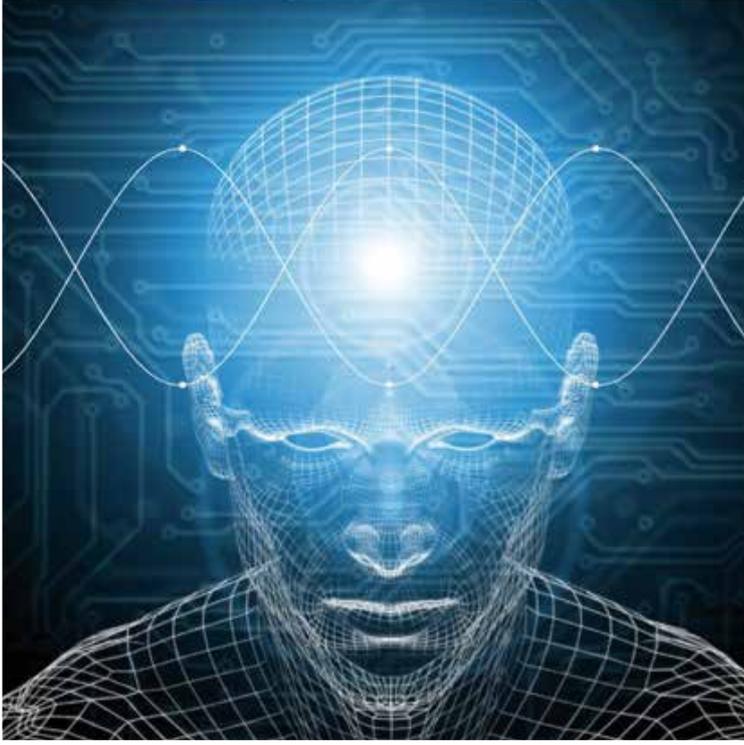
Fotografare la luce

Un recente esperimento di un gruppo di ricerca svizzero ha dimostrato per la prima volta che il comportamento ondulatorio e quello corpuscolare della luce possono essere rilevati contemporaneamente nello stesso sistema fisico. Utilizzando gli elettroni per “fotografare” la luce, i ricercatori sono riusciti, per la prima volta, a effettuare un’istantanea di un impulso di luce che si comporta simultaneamente come onda e flusso di particelle.

Per quanto complesso, vale la pena cercare di presentare almeno qualitativamente un esperimento così affascinante. Un impulso di luce laser viene indirizzato su un filo d’argento di 40 nanometri di larghezza. La luce all’interno del filo crea un’onda stazionaria che fa oscillare le cariche contenute nel filo originando un’onda luminosa, a loro volta. Per “fotografare” quest’onda, gli scienziati hanno inviato sul filo stesso un flusso di elettroni. Gli elettroni interagendo con la luce confinata nel filo, accelerano o rallentano. Tramite un microscopio ultraveloce è possibile identificare la posizione in cui si verifica questo cambio di velocità e contestualmente visualizzare l’onda

stazionaria. Ma questo esperimento non evidenzia solamente la natura ondulatoria della luce: quando infatti gli elettroni passano vicino all’onda stazionaria, interagiscono con le particelle di luce stesse (i fotoni), variando la propria velocità. Questo cambio di velocità si verifica scambiando “pacchetti” di energia ben definita o *quanti* tra elettroni e fotoni.

L’immagine mostra la luce intrappolata all’interno del filo d’argento. L’asse rivolto verso sinistra mostra i picchi e le valli della luce intrappolata nel filo ed evidenzia il comportamento ondulatorio. Sull’asse che va verso destra invece, si può vedere l’energia impartita agli elettroni. La luce può guadagnare o perdere energia solo in quantità discrete (i fotoni). Le protuberanze lungo l’asse dell’energia rappresentano i singoli “pacchetti” di energia che gli elettroni hanno ottenuto dai fotoni e mostrano il comportamento particellare.



Sonno e veglia

Alla base di tutti i nostri pensieri, emozioni e comportamenti c'è una comunicazione tra i neuroni all'interno del nostro cervello. Le onde cerebrali sono prodotte proprio dagli impulsi elettrici sincronizzati di masse di neuroni comunicanti tra loro. Esse sono individuabili tramite la registrazione poligrafica dell'elettroencefalogramma. Le onde cerebrali hanno frequenze che vanno dall'Hertz a qualche decina di Hertz, e caratterizzano le diverse fasi della nostra attività cerebrale: dal sonno profondo, alla veglia cosciente, agli stati di particolare tensione.

Attualmente il principio di decodifica delle onde cerebrali è alla base dello sviluppo di diverse BCI (Brain Computer Interface).