



Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

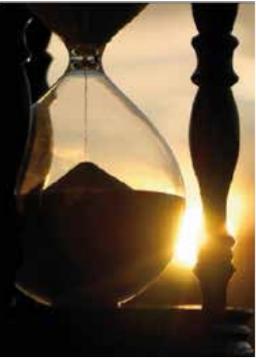
# il tempo

## Concorso ScienzaPerTutti 2015/2016

Cade nel 2015 il 100 anniversario di una teoria che rappresenta uno dei punti più sublimi mai toccati dall'ingegno umano: la relatività generale di Einstein. Utilizziamo questa occasione per motivare la vostra riflessione su uno dei concetti che questa teoria ha contribuito più di ogni altra a rivoluzionare nell'immaginario scientifico e collettivo: quello del tempo. 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 a cura di Paolo Lenisa*





Che cos'è dunque il tempo? Se nessuno me lo chiede, lo so, se voglio spiegarlo a chi me lo chiede, non lo so più.

(Sant'Agostino)

Il tempo è la più sconosciuta tra tutte le cose sconosciute.

(Aristotele)

Alice: "Per quanto tempo è per sempre?" Bianconiglio: "A volte, solo un secondo".

(Lewis Carroll)

Voi occidentali, avete l'ora ma non avete mai il tempo.

(Gandhi)

Abbiamo tutti le nostre macchine del tempo. Alcune ci riportano indietro, e si chiamano ricordi. Alcune ci portano avanti, e si chiamano sogni.

(Jeremy Irons)

Tutti gli oggetti dei sensi, cadono nel tempo e stanno necessariamente fra di loro in rapporti di tempo.

(Immanuel Kant)

L'acqua che tocchi de' fiumi è l'ultima di quelle che andò e la prima di quella che viene. Così il tempo presente.

(Leonardo da Vinci)

Il tempo non esiste, è solo una dimensione dell'anima. Il passato non esiste in quanto non è più, il futuro non esiste in quanto deve ancora essere, e il presente è solo un istante inesistente di separazione tra passato e futuro.

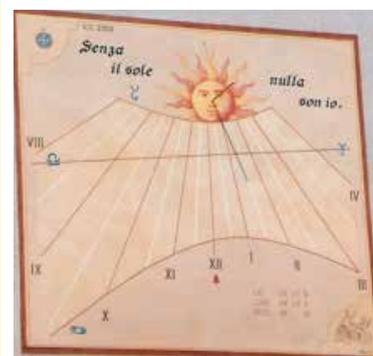
(Sant'Agostino)

Per secoli, l'uomo ha creduto che il sole girasse intorno alla terra. Secoli dopo, pensa ancora che il tempo si muova in senso orario.

(Robert Brault)

Mentre parliamo il tempo, invidioso, sarà già fuggito. Godi il giorno, confidando meno che puoi nel domani.

(Quinto Orazio Flacco)





Rotazione della volta terrestre vista dal Grand Canyon.

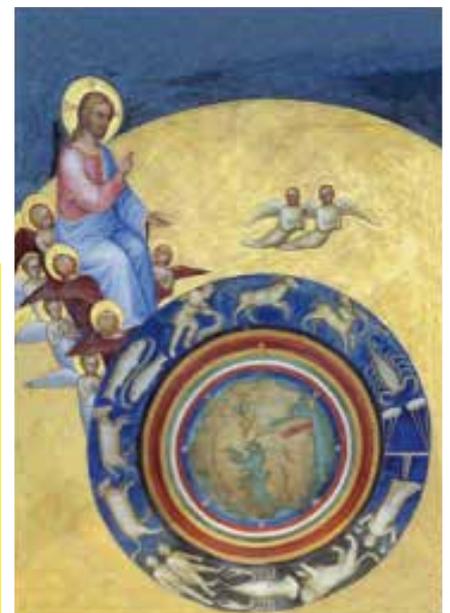


Fernandez Arman: Poubelle de Warhol (1969)



Il tempo ed il suo significato hanno affascinato l'uomo sin dall'antichità. I popoli antichi individuarono nel tempo un elemento di netta distinzione tra mondo terrestre e celeste. Osservarono il drammatico contrasto tra il cambiamento della realtà attorno agli uomini e l'immutabilità del moto dei corpi celesti sopra di essi, ed interpretarono Terra e Cielo come realtà profondamente diverse. La prima in cui era relegato l'uomo, mutevole e deteriorabile, la seconda, invariabile ed eterna, riservata agli Dei.

Anche noi oggi, forse inconsapevoli eredi di questa visione, tendiamo ad evidenziare l'importanza di valori ed ideali attribuendo loro valore eterno.



Giusto da Menabuo: "La creazione del mondo" (1376) Padova, Battistero della Cattedrale

# 3

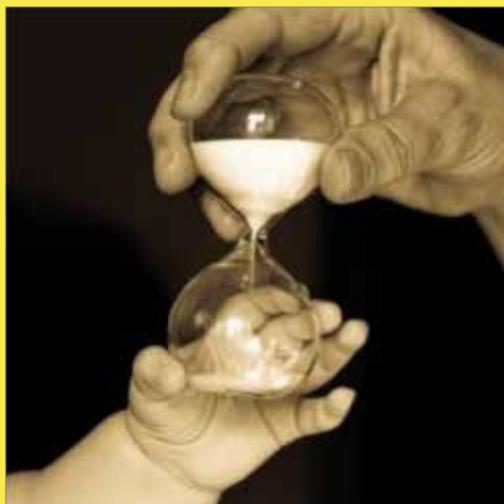
## quanto veloce scorre il tempo psicologico?



Per quanto ne sappiamo, gli esseri umani sono gli unici animali ad essere consapevoli del passare del tempo e di avere una coscienza del passato che vada al di là di puro istinto e condizionamento comportamentale.

Il nostro senso del tempo sembra aver avuto origine come prodotto dell'evoluzione, e non è un processo puramente automatico o innato, ma una attività complessa che sviluppiamo durante la crescita. Il meccanismo reale con cui il cervello percepisce ed elabora il concetto di tempo è complesso e non ancora pienamente compreso. A differenza di altri sensi come visto, udito, gusto, la percezione del tempo coinvolge diverse parti del cervello in un sistema distribuito che include corteccia cerebrale, cervelletto e gangli basali.

Quando il cervello riceve nuove informazioni dal mondo esterno, i dati grezzi non arrivano necessariamente nell'ordine richiesto per elaborarli. Il cervello riorganizza le informazioni e le presenta in una forma più comprensibile. Nel caso di informazioni familiari, questo processo avviene rapidamente, nel caso in cui le informazioni invece siano nuove l'elaborazione richiede un tempo più lungo. Questa elaborazione aggiuntiva causa una percezione di dilatazione temporale. E' questo il motivo per cui ad un bambino l'estate sembra durare per sempre, mentre, ad un adulto impiegato in una occupazione ripetitiva, gli anni sembrano scorrere sempre più veloci.



## il continuo fluire del tempo?



Una delle domande che gli scienziati moderni si pongono è se la percezione del tempo come un flusso continuo e regolare sia corretta anche dal punto di vista fisico. La meccanica quantistica afferma che a livello microscopico l'energia non viene scambiata in modo continuo, ma in "quanti" discreti. E' lecito chiedersi se esista un limite discreto anche alle variazioni di tempo. Questo è stato verificato sperimentalmente attraverso sofisticate apparecchiature, che tramite l'utilizzo di laser impulsati, sono in grado di seguire l'evoluzione di una reazione chimica in frazioni di secondo.



Il limite sondato attraverso questo metodo è attualmente quello di un "femtosecondo" ( $10^{-15}$  s cioè un milionesimo di un miliardesimo di secondo) e non vi è alcuna indicazione che il tempo scorra in passi discreti.

Scendendo di quasi 30 ordini di grandezza il più piccolo intervallo di tempo ad avere significato nel quadro delle leggi della fisica attuale, è il cosiddetto "Tempo di Planck" che corrisponde a  $10^{-43}$  secondi. Al di sotto di questo limite, le leggi della meccanica quantistica e della relatività generale non sono più valide e lo spazio ed il tempo diventano concetti indefiniti. Ciò significa che andando a ritroso nel tempo, siamo in grado di descrivere come l'universo sia venuto all'esistenza da quando aveva un'età di  $10^{-43}$  secondi in poi. La formulazione di una teoria quantistica della gravitazione rappresenta forse la sfida più difficile ed affascinante della fisica teorica contemporanea. Solo quando disporremo di una tale teoria saremo forse in grado di capire che senso abbia chiedersi cosa ci fosse prima del Big Bang.



Nonostante nella nostra percezione il tempo scorra dal passato, attraverso il presente e verso il futuro, non esistono elementi nelle leggi della fisica a suggerire che il tempo scorra dal passato verso il futuro. A livello subatomico non c'è distinzione tra passato e futuro. In un'interazione subatomica, due particelle possono riunirsi e interagire per produrre due altre particelle che successivamente si separano. Le leggi della fisica però non vietano a queste due nuove particelle di interagire e dare origine di nuovo alla situazione iniziale. Studiando la reazione è quindi impossibile determinare l'ordine degli eventi che hanno avuto luogo.



Nel mondo macroscopico, a livello rilevabile dai nostri sensi, siamo invece chiaramente in grado di discernere la “freccia del tempo”. Se vediamo la foto di un bicchiere di vino rosso su un tavolo, ed un'altra di un vetro in frantumi con il vino sparso sul pavimento, siamo in grado di ricostruire l'ordine degli eventi che hanno avuto luogo. Sappiamo che i bicchieri rotti non si riassemblano

e che il vino versato non si raccoglie per porsi di nuovo nel bicchiere. Il motivo è che le leggi della fisica sono reversibili per ogni interazione che coinvolge i singoli atomi del bicchiere, ma c'è una freccia integrata del tempo che riguarda i sistemi complessi di molte particelle, che punta dal passato al futuro.

Per trovare giustificazione alla cosiddetta “freccia del tempo” bisogna ricorrere alle leggi della termodinamica. La seconda legge della termodinamica afferma che l'entropia di un sistema chiuso aumenta sempre. L'entropia è la misura del disordine. Se, per esempio, dopo aver completato un puzzle, lo mettiamo in una scatola, chiudiamo il coperchio ed agitiamo la scatola, non ci aspettiamo di vedere i pezzi riorganizzarsi nel quadro completo. La spiegazione è semplicemente statistica: vi sono molte soluzioni sbagliate ed una sola solo corretta: ci aspettiamo quindi di ottenere sempre quelle sbagliate. Un sistema lasciato a se stesso tenderà al disordine, e non all'ordine, e questa tendenza origina quella che definiamo “freccia del tempo”.

## lenti gravitazionali per viaggiare nello spazio tempo



Una delle previsioni più suggestive della teoria della Relatività Generale di Einstein di cui quest'anno ricorre il centesimo anniversario, è che le masse nell'Universo (stelle, galassie, ammassi di galassie) deformino lo spazio-tempo intorno a loro, analogamente ad una palla pesante che deforma il tappeto elastico su cui è poggiata. Attorno a tal masse, la luce segue delle traiettorie curve. La capacità delle grandi masse di agire come lenti gravitazionali in grado di deviare la luce in modo analogo alle ordinarie lenti d'ingrandimento, è attualmente uno dei mezzi d'indagine più potenti per lo studio della struttura dell'Universo. Con le lenti gravitazionali siamo infatti in grado di rivelare la presenza di enormi sacche di materia oscura nell'Universo e capire come questa domini il contenuto della sua massa totale (circa l'85%).



Ma non è tutto, i raggi di luce, oltre ad essere deviati dalle masse che vengono a trovarsi sulla loro strada, subiscono anche un ritardo temporale: in parte perché percorrono un tratto più lungo, in parte per un effetto della relatività generale che fa scorrere il tempo più lentamente in presenza di campi gravitazionali. Nel 1964, l'astrofisico Sjur Refsdal utilizzò questo effetto per predire che se un evento transiente che variasse la propria luminosità nel giro di mesi o anni, avesse attraversato una di queste lenti producendo delle immagini multiple, ci sarebbe stato un ritardo temporale tra gli eventi osservati nelle varie immagini. Nel Novembre del 2014, le osservazioni ripetute del telescopio Hubble di un enorme ammasso di galassie, hanno rivelato l'esplosione di una supernova in una galassia molto distante che, per effetto lente dell'ammasso, è divisa in tre immagini speculari. I primi calcoli mostrano che la stessa supernova era già esplosa alcune decine di anni prima in una di queste immagini (ormai troppo debole per essere rivelata), ed esploderà di nuovo fra circa un anno nell'immagine proiettata nel futuro. Ci troviamo quindi ad osservare una supernova nel presente, ma, per un gioco di specchi cosmici nello spazio-tempo di Einstein, riosserveremo lo stesso film fra qualche anno.