

# Il tempo è un' ILLUSIONE?

Secondo alcuni fisici è possibile che i concetti dinamici di tempo e di cambiamento emergano da un universo statico

di Craig Callender

**M**entre leggete questa frase state probabilmente pensando che questo momento, proprio adesso, è ciò che sta accadendo. Il momento attuale sembra speciale. È reale. Per quanto ricordate il passato o anticipate il futuro, vivete nel presente. Certo, il momento in cui avete letto la frase precedente adesso non è più in corso. Lo è questo, invece. In altre parole, si ha l'impressione che il tempo fluisca, nel senso che il presente si aggiorna di continuo. Abbiamo una profonda intuizione del fatto che il futuro sia aperto fino a quando non diventa presente, e che il passato sia fisso. Con il fluire del tempo questa struttura di passato fisso, presente immediato e futuro aperto viene trasportata nel tempo. Questa struttura è parte integrante del nostro linguaggio, pensiero e comportamento. E da questa struttura dipende il modo in cui viviamo la nostra vita.

Questo modo di pensare è naturale, ma in realtà non ha un fondamento scientifico. Le equazioni della fisica non ci dicono quali eventi si stanno verificando proprio adesso: sono come una mappa senza l'indicazione «voi siete qui». In queste equazioni non esiste il momento attuale, e quindi nemmeno il fluire del tempo. Inoltre, la teoria della relatività di Einstein suggerisce che non solo non c'è un singolo presente speciale, ma anche che tutti i momenti sono ugualmente reali. In sostanza, il futuro non è più aperto del passato (si veda *Come costruire una macchina del tempo*, di Paul Davies, in «Le Scienze» n. 411, novembre 2002).

La differenza tra l'idea scientifica e la nostra idea quotidiana del tempo ha appassionato pensatori di epoche diverse, e si è fatta sempre più grande via via che i fisici hanno privato il tempo della maggior parte delle proprietà che gli attribuiamo. Adesso il divario sta raggiungendo la sua conclusione logica, visto che ormai secondo molti fisici teorici il tempo addirittura non esiste.

L'idea di una realtà senza tempo è tanto sbalorditiva che è difficile capire come possa essere coerente. Quello che facciamo, lo facciamo nel tempo. Il mondo è una serie di eventi collegati tra loro dal tempo. Ognuno di noi osserva i propri capelli diventare più grigi, gli og-

## IN SINTESI

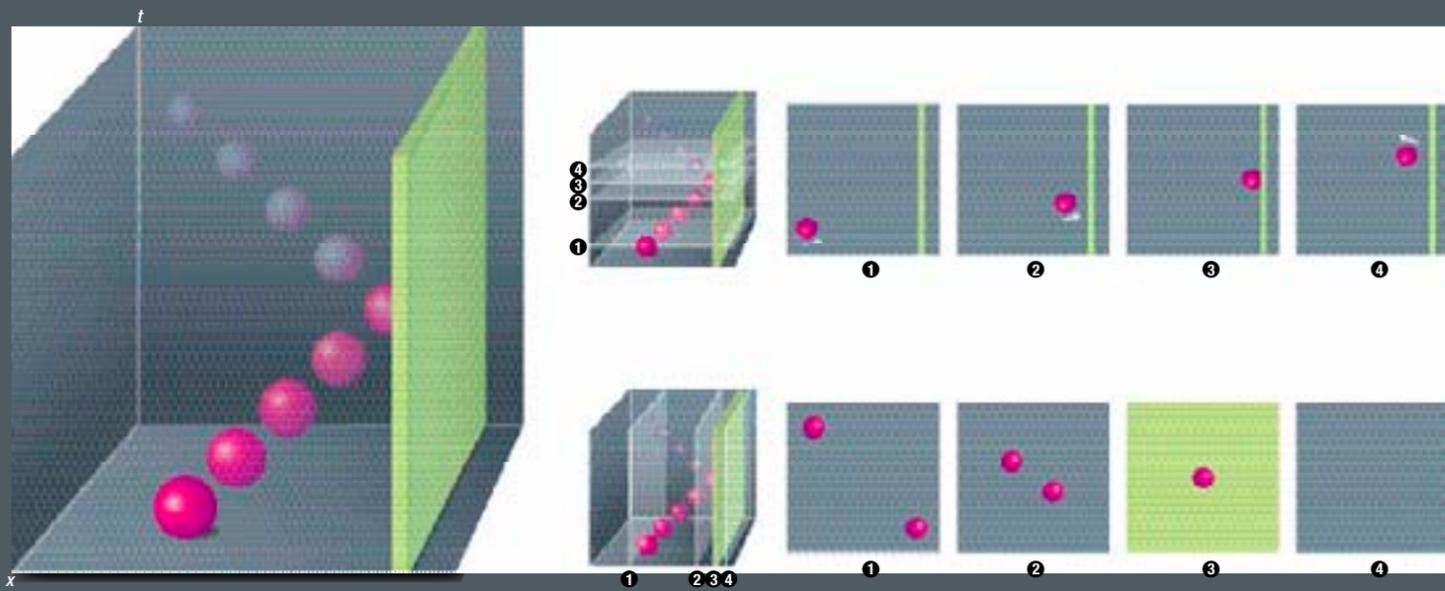
- Il tempo è un argomento molto dibattuto tra i fisici. La ricerca di una teoria unificata sta costringendo gli scienziati a riesaminare alcune ipotesi basilari, e poche cose sono più basilari del tempo.
- Alcuni fisici sostengono che il tempo non esista. Altri pensano che il tempo debba essere promosso, invece che retrocesso. Tra queste due posizioni c'è l'idea secondo cui il tempo esiste ma non è fondamentale. In qualche modo, da un mondo statico emerge il tempo che percepiamo.
- I filosofi discutono idee analoghe da prima dell'epoca di Socrate, ma ora i fisici le rendono concrete. Secondo uno scienziato, il tempo deriva da una suddivisione dell'universo: quello che percepiamo come tempo riflette le relazioni tra le varie parti.

DINAMISMO DALLA STASI.

L'arte di Keith Peters esplora l'idea secondo cui un mondo intrinsecamente statico può comunque evocare il dinamismo.

## Se il tempo non è come lo spazio

Chiunque disegni un grafico, compresi fisici e artisti, in genere rappresenta il tempo come un'ulteriore dimensione dello spazio, creando uno spazio-tempo unificato, mostrato qui come un blocco tridimensionale in cui una palla rimbalza contro un muro. Secondo la teoria della relatività, lo spazio-tempo si può frazionare in vari modi, ma non tutti sono sensati.



getti che si spostano e così via. Vediamo il cambiamento, e il cambiamento è la variazione di qualche proprietà rispetto al tempo. Senza tempo, il mondo sarebbe immutabile. Una teoria che prescindere dal tempo deve spiegare perché osserviamo il cambiamento, se invece il mondo non sta cambiando.

Alcune recenti ricerche cercano proprio di fornire questa spiegazione. A un livello fondamentale il tempo può non esistere, ma può comparire a livelli superiori, come un tavolo appare solido sebbene sia un insieme di particelle composto per la maggior parte da spazio vuoto. La solidità è una proprietà collettiva, o emergente, delle particelle. Anche il tempo potrebbe essere una proprietà emergente degli ingredienti basilari del mondo, quali che siano.

Questa idea di tempo emergente ha lo stesso potenziale rivoluzionario dello sviluppo della teoria della relatività e della meccanica quantistica, avvenuto un secolo fa. Einstein aveva detto che la ricontestualizzazione del tempo era stata fondamentale per lo sviluppo della relatività. Oggi, mentre tentano di unificare relatività e meccanica quantistica, i fisici ritengono che il tempo sia di nuovo centrale. Nel 2008 il Foundational Questions Institute (FQXi) ha sponsorizzato un concorso per un saggio sulla natura del tempo a cui hanno partecipato numerosi grandi nomi della fisica. Molti scienziati hanno sostenuto che una teoria unificata descriverà un mondo senza tempo, altri sono stati restii a fare a meno del tempo, tutti sono stati d'ac-

cordo sul fatto che senza una riflessione profonda sul tempo potrebbe essere impossibile proseguire verso una teoria unificata.

### Ascesa e caduta del tempo

Nel corso dei secoli, la ricca idea del tempo che ci viene dall'intuito si è impoverita. Nella fisica, il tempo svolge diversi compiti, ma con il progredire di questa scienza i compiti del tempo sono stati via via assegnati ad altro.

Può non essere subito ovvio, ma le leggi del moto di Isaac Newton richiedono che il tempo abbia molte caratteristiche specifiche. In linea di principio tutti gli osservatori sono d'accordo sull'ordine in cui si svolgono gli eventi. Indipendentemente da quando e dove si verifichi un evento, la fisica classica assume che sia possibile dire oggettivamente se è avvenuto prima, dopo o simultaneamente a un qualsiasi altro evento nell'universo. Il tempo ordina quindi tutti gli eventi del mondo, e la simultaneità è assoluta: è un fatto indipendente dall'osservatore. Inoltre, per poter definire velocità e accelerazione il tempo deve essere continuo.

Per poter dire quanto sono lontani nel tempo due eventi, il tempo classico deve avere anche un concetto di durata: quello che i fisici chiamano una metrica. Per affermare che Usain Bolt può arrivare a correre a 43 chilometri all'ora, dobbiamo essere in grado di misurare che cos'è un'ora. Anche la durata degli eventi è indipendente dagli osservatori. Se Alice e Bob escono da scuola alle 15,

vanno ognuno per conto proprio e poi si incontrano a casa alle 18, la quantità di tempo trascorsa per Alice è uguale a quella trascorsa per Bob.

In sostanza, per Newton il mondo ha un orologio universale. L'orologio ripartisce il mondo in istanti di tempo in modo unico e oggettivo. La fisica di Newton ascolta il ticchettio di questo orologio e nient'altro. Secondo Newton, inoltre, il tempo scorre fornendoci una freccia grazie a cui sappiamo qual è la direzione del futuro. Queste caratteristiche aggiuntive però non sono strettamente necessarie per le leggi che ha elaborato.

Il tempo di Newton può sembrare ormai una banalità, ma in realtà a pensarci bene è sorprendente. Le sue numerose caratteristiche – ordine, continuità, durata, simultaneità, flusso e freccia – sono separabili da un punto di vista logico, eppure si ritrovano tutte insieme nell'orologio universale che Newton ha chiamato «tempo». Questa unione di caratteristiche ha avuto tanto successo da sopravvivere per quasi due secoli.

Poi sono arrivati gli attacchi della fine del XIX e dell'inizio del XX secolo. Il primo è stato il lavoro del fisico austriaco Ludwig Boltzmann, per il quale, visto che le leggi di Newton funzionano sia avanti sia indietro nel tempo, il tempo non ha una freccia predefinita. In alternativa Boltzmann aveva proposto che la distinzione tra passato e futuro non fosse intrinseca nel tempo ma nascesse dalle asimmetrie nel modo in cui è organizzata la materia nell'universo. Anche se i dettagli della proposta sono ancora oggetto di discussione (si veda *Le origini cosmiche della freccia del tempo*, di Sean M. Carroll, in «Le Scienze» n. 480, agosto 2008), senza dubbio Boltzmann ha cassato una delle proprietà del tempo newtoniano.

Il secondo attacco è arrivato da Einstein, che ha eliminato l'idea di simultaneità assoluta. Secondo la relatività ristretta, la simultaneità di due eventi dipende dalla velocità a cui ci muoviamo. L'arena degli eventi non è il tempo o lo spazio, ma la loro unione: lo spazio-tempo. Due osservatori che si muovono a velocità diverse sono in disaccordo su quando e dove si sia verificato un evento, ma concordano sulla sua posizione nello spazio-tempo. Spazio e tempo sono concetti secondari, «destinati a sbiadire fino a diventare semplici ombre», come ha detto il matematico Hermann Minkowski, uno dei docenti universitari di Einstein.

Le cose sono peggiorate nel 1915, con la teoria generale della relatività, che estende la relatività ristretta alle situazioni in cui agisce la gravità. La forza di gravità deforma il tempo, quindi il trascorrere di un secondo in un due luoghi diversi può non avere lo stesso significato. Solo in rari ca-

si è possibile sincronizzare gli orologi e farli rimanere tali, anche dal punto di vista teorico. In generale non è possibile pensare al mondo come se evollesse un istante dopo l'altro seguendo un unico parametro temporale. In situazioni estreme, può essere impossibile ripartire il mondo in istanti temporali. Allora diventa impossibile dire se un evento si sia verificato prima o dopo un altro.

La relatività generale contiene molte funzioni in cui compare la parola «tempo»: il tempo coordinato, il tempo proprio, il tempo universale. Insieme svolgono molti compiti svolti dall'unico tempo di Newton, ma nessuno, da solo, sembra degno del titolo. O la fisica non dà ascolto a questi orologi o, se lo fa, questi orologi si applicano solo a piccole zone dell'universo o a singoli osservatori. Oggi i fisici sono preoccupati dal fatto che una teoria unificata debba eliminare il tempo, ma possiamo affermare che il tempo si era perso già nel 1915, e che ancora non ce ne siamo fatti una ragione.

### Il tempo come grande narratore

Ma allora a che serve il tempo? Si potrebbe dire che la differenza tra spazio e tempo sia quasi sparita, e che la vera arena degli eventi in un universo relativistico sia un grosso blocco quadridimensionale. Sembra che la relatività spazializzi il tempo, trasformandolo in un'ulteriore direzione all'interno del blocco. Lo spazio-tempo è come una pagnotta che si può affettare in vari modi, chiamati «spazio» o «tempo» quasi arbitrariamente.

Ma anche nella relatività generale il tempo ha una funzione distinta e importante: distingue localmente tra direzioni «di tipo tempo» e «di tipo spazio». Gli eventi con una relazione di tipo tempo possono avere tra loro un nesso causale. Sono eventi per cui un oggetto o un segnale può passare da uno all'altro, influenzando ciò che accade. Gli eventi con una relazione di tipo spazio invece non sono collegati in modo causale. Nessun oggetto o segnale può passare da un evento a un altro. Dal punto di vista matematico c'è solo un segno meno che distingue le due direzioni, eppure questo segno meno ha effetti enormi. Gli osservatori sono in disaccordo sulla successione degli eventi di tipo spazio, ma tutti concordano sull'ordinamento degli eventi di tipo tempo. Se un osservatore percepisce che un evento può causarne un altro, allora lo percepiscono tutti gli osservatori.

Nel mio saggio per il concorso del FQXi, ho indagato il significato di questa proprietà del tempo. Immaginiamo di suddividere in fette lo spazio-tempo dal passato al futuro. Ogni fetta è la totalità tridimensionale dello spazio in un istante del tempo. L'unione di tutte queste fette di eventi con una

Senza una riflessione profonda sul tempo, potrebbe essere impensabile proseguire sulla strada che porta a una teoria unificata

### L'AUTORE



CRAIG CALLENDER è professore di filosofia all'Università della California a San Diego. Ha esplorato la filosofia e la fisica del tempo, pubblicando decine di articoli in riviste di fisica e di filosofia e curando libri sulla gravità quantistica e sul tempo. È autore di *Il tempo a fumetti* (Raffaello Cortina, Milano, 2009) e sta lavorando a un libro su filosofia, fisica e scienza cognitiva del tempo, intitolato *Time: From the Inside Out*.

relazione di tipo spazio è lo spazio-tempo quadridimensionale. In alternativa, immaginiamo di guardare l'universo da un lato e di affettarlo. Da questa prospettiva ogni fetta tridimensionale è un'amalgama di eventi con una relazione di tipo spazio (in due sole dimensioni) e di eventi con una relazione di tipo tempo. Questi due modi di affettare corrispondono a tagliare una pagnotta verticalmente oppure orizzontalmente.

Il primo modo è familiare ai fisici, per non parlare degli spettatori di un film. I fotogrammi rappresentano fette di spazio-tempo: mostrano lo spazio in momenti temporali successivi. Gli appassionati di cinema capiscono subito la trama di un film e prevedono che cosa accadrà; allo stesso modo i fisici possono prendere una fetta dello spazio e ricostruire che cosa accade nelle altre fette applicando le leggi della fisica.

Il secondo modo non ha un'analogia semplice, visto che corrisponde ad affettare lo spazio-tempo non dal passato al futuro ma da est a ovest. Un esempio di una di queste fette potrebbe essere la parete nord della vostra casa, insieme a quello che succederà in futuro su questa parete. A partire da questa fetta applichiamo le leggi della fisica per ricostruire come è fatto il resto della casa (e dell'universo). Se sembra strano, è giusto che sia così. Non è subito ovvio se le leggi della fisica ci permettano di farlo o no. Ma come hanno dimostrato di recente il matematico Walter Craig della McMaster University e il filosofo Steven Weinstein dell'Università di Waterloo, in Canada, tutto questo è possibile, almeno in alcune situazioni semplici.

I due modi di affettare lo spazio-tempo sono profondamente diversi, sebbene siano entrambi possibili, in linea di principio. Nelle normali fette dal passato al futuro i dati che è necessario raccogliere su una fetta sono abbastanza facili da ottenere. Per esempio si misurano le velocità di tutte le particelle. La velocità di una particella in una posizione è indipendente dalla velocità di un'altra particella in una posizione diversa, il che rende semplici le due misurazioni. Nel secondo metodo, invece, le proprietà delle particelle non sono indipendenti, ma si devono impostare in un modo ben preciso, altrimenti una sola fetta non basterebbe per ricostruire le altre. Per ottenere i dati necessari bisognerebbe fare misurazioni congiunte estremamente difficili. Inoltre queste misurazioni sulle particelle permetterebbero di ricostruire lo spazio-tempo solo in alcuni casi speciali, come quello scoperto da Craig e Weinstein.

Per essere precisi, il tempo è la direzione all'interno dello spazio-tempo in cui è possibile fare buone previsioni: la direzione in cui possiamo

raccontare le storie più ricche di informazione. La narrazione dell'universo non si sviluppa nello spazio, si sviluppa nel tempo.

### Tempo quantistico

Uno degli obiettivi più importanti della fisica è l'unione tra relatività generale e meccanica quantistica, per avere un'unica teoria che tratti gli aspetti sia gravitazionali sia quantistici della materia: una teoria quantistica della gravità. La meccanica quantistica richiede però che il tempo abbia proprietà in contraddizione con quanto scritto finora.

La meccanica quantistica afferma che gli oggetti hanno un'insieme di comportamenti molto più ricco rispetto a quello descritto da grandezze classiche come posizione e velocità. La descrizione completa di un oggetto è data da una funzione matematica, uno «stato quantico», che evolve nel tempo. Grazie allo stato quantico i fisici calcolano le probabilità di qualsiasi esito sperimentale in qualsiasi istante. Se facciamo passare un elettrone in un apparecchio da cui verrà deviato in alto o in basso, la meccanica quantistica potrebbe non dirci con certezza quale sarà l'esito. Lo stato quantico può darci solo le probabilità dei vari esiti: per esempio una probabilità del 25 per cento che l'elettrone vada verso l'alto e una del 75 per cento che vada verso il basso. Due sistemi descritti da stati quantici identici possono evolvere diversamente. L'esito degli esperimenti è probabilistico.

Le previsioni probabilistiche della teoria richiedono che il tempo abbia certe caratteristiche. Innanzitutto il tempo è ciò che rende possibili le contraddizioni. Un dado non può mostrare sulla stessa faccia allo stesso tempo 5 e 3, può farlo solo in momenti diversi. Collegato a questa proprietà c'è il fatto che le probabilità di avere come risultato ognuno dei sei numeri devono avere come somma il 100 per cento, altrimenti il concetto di probabilità non avrebbe senso. Le probabilità si sommano rispetto a uno stesso istante, non rispetto a uno stesso luogo. E questo è vero anche per le probabilità di una data posizione o una data quantità di moto per le particelle quantistiche.

Inoltre, l'ordine temporale delle misurazioni quantistiche è essenziale. Supponiamo di far passare un elettrone in un apparecchio che prima lo deflette lungo la direzione verticale e poi lungo quella orizzontale. Quando riemerge, ne misuriamo il momento angolare. Ripetiamo l'esperimento, questa volta deflettendo l'elettrone prima orizzontalmente e poi verticalmente. I valori ottenuti saranno molto diversi.

Infine, uno stato quantico fornisce probabilità per tutto lo spazio in un dato istante. Se lo sta-

## In fondo, chi ha bisogno del tempo?



to sull'altra indipendentemente da dove si trovi, il che porta alla «inquietante azione a distanza» che tanto infastidiva Einstein perché se le particelle reagiscono simultaneamente allora l'universo deve avere un orologio globale, proibito esplicitamente dalla relatività (si veda *Sfida quantistica alla relatività speciale*, di David Z Albert e Rivka Galchen, in «Le Scienze» n. 489, maggio 2009).

Alcune questioni sono controverse, ma il tempo nella meccanica quantistica è un ritorno al tempo nella meccanica newtoniana. I fisici sono turbati dall'assenza del tempo nella relatività, forse però il ruolo centrale del tempo nella meccanica quantistica è un problema peggiore, ed è il motivo per cui l'unificazione è tanto difficile.

### Che fine ha fatto il tempo?

Numerose aree di ricerca hanno provato a riconciliare relatività generale e meccanica quantistica: la teoria delle superstringhe, la teoria della triangolazione causale, la geometria non commutativa e altre ancora. In linea di massima, si dividono in due gruppi. I fisici che ritengono che la meccanica quantistica fornisca le basi più solide, come gli stu-

to di partenza sia la relatività generale iniziano con una teoria in cui il tempo è già declassato, perciò sono più aperti all'idea di una realtà senza tempo.

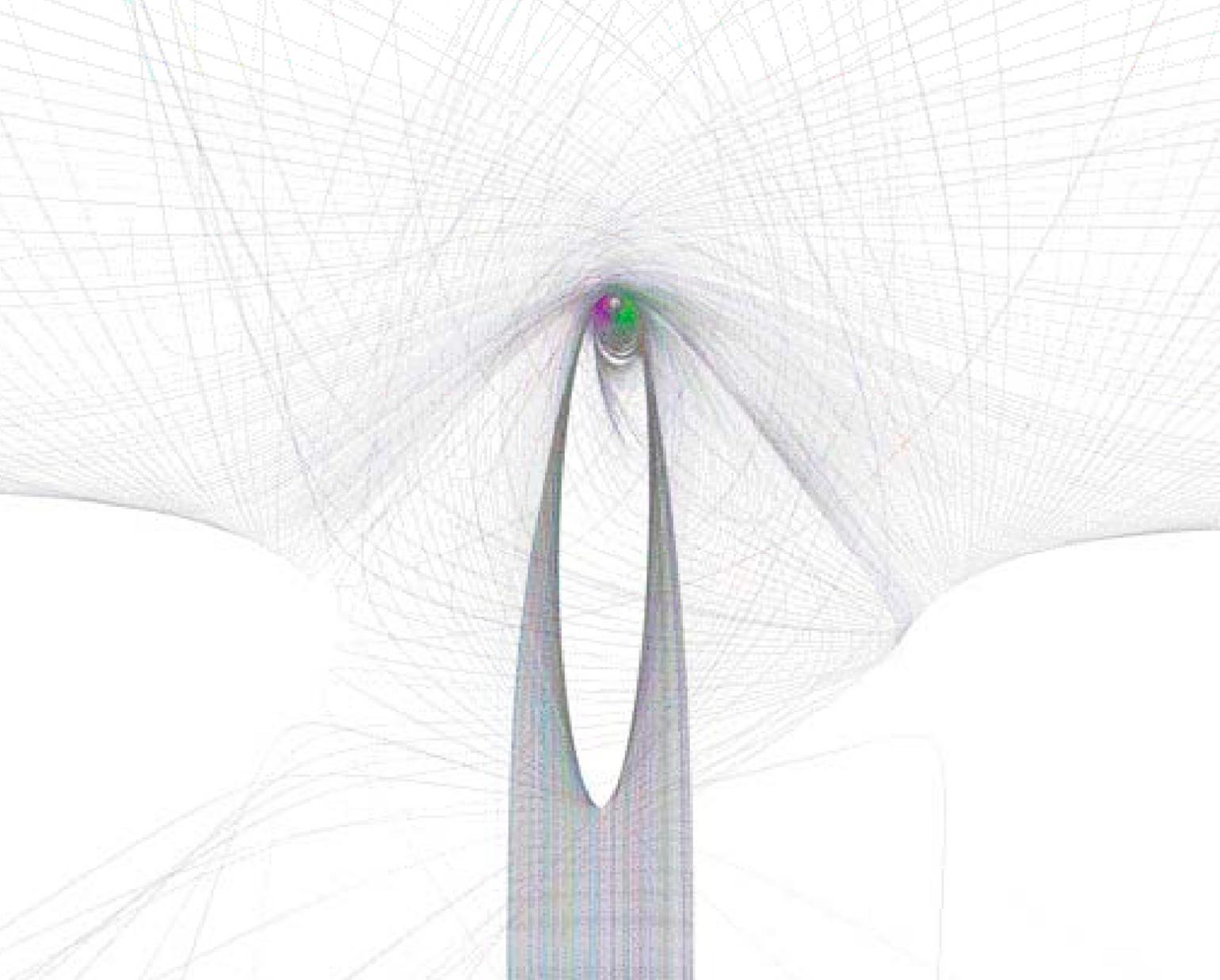
In verità la distinzione tra questi due approcci è sfumata. Gli studiosi delle superstringhe hanno analizzato teorie prive del tempo. Ma per rendere l'idea dei problemi posti dal tempo mi concentrerò sul secondo approccio. L'esempio principale di questa strategia è la gravità quantistica a loop (si veda *Atomi dello spazio e del tempo*, di Lee Smolin, in «Le Scienze» n. 426, febbraio 2004), che deriva dalla cosiddetta gravità quantistica canonica.

La gravità quantistica canonica è stata sviluppata negli anni cinquanta e sessanta, quando i fisici hanno riscritto le equazioni di Einstein per la gravità nella stessa forma delle equazioni per l'elettromagnetismo, pensando di applicare alla gravità le stesse idee usate per sviluppare una teoria quantistica dell'elettromagnetismo. Alla fine degli anni sessanta John Wheeler e Bryce DeWitt hanno messo in pratica questa procedura, ottenendo un risultato molto strano. Nell'equazione (chiamata equazione di Wheeler-DeWitt) mancava la variabile temporale. Il simbolo  $t$  del tempo era scomparso.

## I DIFENSORI DEL TEMPO CHE SCORRE

Non tutti i fisici pensano che il mondo sia privo di tempo. Una delle idee alternative più interessanti è la teoria degli insiemi causali, sviluppata da Rafael Sorkin e David Rideout del Perimeter Institute for Theoretical Physics, in Ontario. Questa teoria suppone che il mondo sia un insieme di eventi, detto *causet* (da *causal set*, insieme causale), che cresce via via che nuovi eventi iniziano a esistere, seguendo regole probabilistiche. La speranza è che il processo riproduca le caratteristiche dello spazio-tempo che percepiamo, compreso lo scorrere del tempo. Una domanda che rimane aperta, però, è se questo processo produca mondi compatibili con la teoria della relatività.

**Il tempo è ciò che rende possibili le contraddizioni**



**MONDO RELAZIONALE.** Il tempo potrebbe non avere un'esistenza indipendente, ma potrebbe emergere come modo per descrivere le relazioni tra gli oggetti. Questa idea ha ispirato Keith Peters, che ha disegnato insieme di linee avvolte tra loro.

Per lungo tempo i fisici sono rimasti disorientati. Come era possibile che il tempo sparisse? A pensarci bene, il risultato non era sorprendente. Come ho già accennato, il tempo era quasi scomparso dalla relatività generale prima che i fisici cercassero di unire la relatività con la meccanica quantistica.

Se si prende alla lettera il risultato, il tempo non esiste. Carlo Rovelli dell'Université de la Méditerranée di Marsiglia, uno dei fondatori della gravità quantistica a loop, ha intitolato il suo saggio per il FQXi *Forget Time* («dimenticate il tempo»). Rovelli e il fisico britannico Julian Barbour sono i più illustri sostenitori di questa idea. Hanno cercato di riscrivere la meccanica quantistica facendo a meno del tempo, come pare necessario per la relatività.

Rovelli e Barbour ritengono che questa impresa sia possibile perché, sebbene la relatività generale sia priva di un tempo globale, riesce a descrivere il cambiamento correlando i sistemi fisici tra loro invece che a un'idea astratta di tempo globale. Ne-

gli esperimenti mentali di Einstein gli osservatori determinano i tempi degli eventi confrontando i rispettivi orologi usando segnali luminosi. Possiamo descrivere le variazioni nella posizione di un satellite in orbita attorno alla Terra in termini di ticchettii dell'orologio della cucina, o viceversa. Quello che stiamo facendo è descrivere le correlazioni tra due oggetti senza usare un tempo globale come intermediario. Invece di dire che il colore dei capelli varia col tempo, possiamo correlarlo con l'orbita del satellite. Invece di dire che una pallina accelera di dieci metri al secondo al secondo, possiamo descriverla in termini del mutamento di un ghiacciaio. E così via. Il tempo diventa ridondante. Il cambiamento può essere descritto senza tempo.

Questa enorme rete di correlazioni è organizzata in modo ordinato, quindi possiamo definire qualcosa chiamato «tempo» e riferire tutto a esso, senza tenere traccia di tutte le relazioni dirette. I fisici sono in grado di sintetizzare il funziona-

Keith Peters

mento dell'universo in termini di leggi fisiche che si svolgono nel tempo. Ma questa comodità non deve ingannarci, facendoci pensare che il tempo sia un componente fondamentale della struttura dell'universo. Anche il denaro rende la vita molto più semplice rispetto ai baratti, ma è un'etichetta inventata che assegniamo alle cose a cui attribuiamo un valore, non qualcosa che per noi ha un valore di per sé. Analogamente, il tempo permette di correlare sistemi fisici tra loro senza dover calcolare il rapporto tra un ghiacciaio e una pallina. Ma anche il tempo è un'invenzione comoda, e non esiste in natura più di quanta esista il denaro.

Sbarazzarsi del tempo ha il suo fascino, ma comporta numerosi danni collaterali. Innanzitutto richiede un ripensamento completo della meccanica quantistica. Consideriamo il famoso caso del gatto di Schrödinger. Il gatto è sospeso tra la vita e la morte: il suo destino dipende dallo stato di una particella quantistica. In genere si dice che il gatto è morto o vivo in funzione del risultato di una misurazione o di un processo equivalente. Rovelli invece direbbe che lo stato del gatto non si risolve mai. Il povero animale può essere morto rispetto a sé stesso, vivo rispetto a un essere umano che si trova nella stanza, morto rispetto a un secondo essere umano fuori dalla stanza e così via.

Una cosa è che il momento della morte del gatto dipenda dall'osservatore, come dice la relatività ristretta. Un'altra, ancora più sorprendente, è che il suo verificarsi o meno sia relativo, come suggerisce Rovelli, seguendo lo spirito della relatività. Dato che il tempo è fondamentale, bandirlo trasformerebbe il modo in cui i fisici vedono il mondo.

## Recuperare il tempo

Il mondo è privo di tempo, e tuttavia sembra che il tempo faccia parte del mondo. Spiegare perché il mondo sembra temporale è una questione pressante per chiunque abbracci la gravità quantistica priva di tempo. Anche la relatività generale è priva di un tempo newtoniano, ma almeno ha vari sostituti parziali che, presi insieme, si comportano come il tempo newtoniano quando la gravità è debole e le velocità relative sono basse. L'equazione di Wheeler-DeWitt è priva anche di questi sostituti. Barbour e Rovelli hanno proposto idee sul modo in cui il tempo (o almeno l'illusione del tempo) possa comparire dal nulla. Ma la gravità quantistica canonica già offre un'idea più sviluppata.

Noto come tempo semiclassico, risale a un articolo del 1931 del fisico britannico Nevill F. Mott in cui era descritta la collisione tra un nucleo di elio e un atomo più grande. Per ottenere un modello del sistema, Mott aveva applicato un'equa-

zione in cui non compare il tempo, e che di solito si applica solo a sistemi statici. Poi aveva diviso il sistema in due sottosistemi e aveva usato il nucleo di elio come «orologio» per l'atomo. Il risultato notevole è che l'atomo obbedisce, rispetto al nucleo, alle equazioni della meccanica quantistica dipendenti dal tempo. Così, anche se il sistema nel suo complesso è privo di tempo, le singole parti non lo sono. Nell'equazione priva del tempo relativa al sistema totale è nascosto un tempo per il sottosistema.

Qualcosa di simile funziona per la gravità quantistica, come spiega Claus Kiefer dell'Università di Colonia nel saggio per il FQXi, proseguendo l'opera di Thomas Banks, dell'Università della California a Santa Cruz. L'universo può essere privo di tempo, ma se lo dividiamo in varie parti alcune possono fare da orologio per le altre. Il tempo emerge dall'assenza di tempo, percepiamo il tempo perché la nostra natura è di essere una di quelle parti.

Per quanto questa idea sia interessante e sbalorditiva, vogliamo ancora di più. L'universo non può essere sempre diviso in pezzi che facciano da orologi e, in questi casi, la teoria non fa previsioni probabilistiche. Per affrontare queste situazioni servirà una teoria quantistica completa della gravità e un profondo ripensamento del tempo.

Dal punto di vista storico, i fisici sono partiti dal tempo altamente strutturato dell'esperienza, il tempo con un passato fisso, un presente e un futuro aperto. Hanno gradualmente smantellato questa struttura, di cui rimane poco o nulla. Ora devono invertire questo procedimento e ricostruire il tempo dell'esperienza a partire dal tempo della fisica non fondamentale, che a sua volta deve essere ricostruito a partire da una rete di correlazioni tra le parti di un mondo statico fondamentale.

Il filosofo francese Maurice Merleau-Ponty ha affermato che il tempo in realtà non scorre di per sé, e che il suo scorrere apparente è un risultato del fatto che «poniamo surrettiziamente nel fiume un testimone del suo corso». Quindi la tendenza a credere che il tempo scorra è dovuta al fatto che dimentichiamo di inserire nella rappresentazione noi stessi e i nostri collegamenti con il mondo. Merleau-Ponty parlava della nostra esperienza soggettiva del tempo, e fino a poco tempo fa – ironia del linguaggio... – nessuno avrebbe immaginato che lo stesso tempo oggettivo si potesse spiegare come risultato di questi collegamenti. Forse il tempo esiste solo dividendo il mondo in sottosistemi ed esaminando che cosa li tiene insieme. In questa rappresentazione il tempo fisico emerge perché ci consideriamo separati da ogni altra cosa. ■

## Letture

**Relational Quantum Mechanics.** Rovelli C., in «International Journal of Theoretical Physics», Vol. 35, n. 8, pp. 1637-1678, agosto 1996. Disponibile su Internet all'indirizzo: [arxiv.org/abs/quant-ph/9609002](http://arxiv.org/abs/quant-ph/9609002).

**Can Physics Coherently Deny the Reality of Time?** Healey R., in *Time, Reality & Experience*, Callender C. (a cura), Università di Cambridge, 2002.

**Three Roads to Quantum Gravity.** Smolin L., Basic Books, 2002.

**La fine del tempo.** Barbour J., Einaudi, Torino, 2003.

**La trama del cosmo. Spazio, tempo, realtà.** Greene B., Einaudi, Torino, 2004.

**Introducing Time.** Callender C., Totem Books, 2005.

**The Complete Idiot's Guide to String Theory.** Musser G., Alpha, 2008.

**From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Theory of Time.** Carroll S.M.G., Dutton, 2010.

**Does Time Exist in Quantum Gravity?** Kiefer C., [www.fqxi.org/community/forum/topic/265](http://www.fqxi.org/community/forum/topic/265).

**Forget Time.** Rovelli C., [www.fqxi.org/community/forum/topic/237](http://www.fqxi.org/community/forum/topic/237).

**What Makes Time Special.** Callender C., [www.fqxi.org/community/forum/topic/302](http://www.fqxi.org/community/forum/topic/302).