

Intervista
Mauro Dorato
Tempo e divenire fra fisica e metafisica

Laura Fellingine
felline@uniroma3.it

- 1. Nel 1908 esce il celebre articolo di J. M. E. Mc Taggart “The Unreality of Time”¹. Tale articolo ha ricevuto seria attenzione da molti seguenti filosofi che lavorano sul tema della metafisica del tempo e ha anche reimpostato in maniera essenziale la ricerca in tal campo. Quali meriti riconosce nell’articolo di Mc-Taggart, e quali limiti invece?**

Nel 1908 viene pubblicato anche lo storico saggio di Minkowsky in cui spazio e tempo sono concepiti non più come entità separate, ma come uniti nell’unica realtà dello spaziotempo. È curioso che il 1908 sia dunque un anno molto importante sia per la fisica, che per la concezione puramente filosofica del tempo.

L’articolo di McTaggart rappresenta l’inizio della filosofia analitica sul tempo, ossia l’atto di nascita di quella ricerca filosofica che per indagare sulla natura del tempo si concentra sul modo in cui *parliamo* del tempo. Questa attenzione ai temi del linguaggio va anche vista come un riflesso della cosiddetta “svolta semantica”, tipica della filosofia analitica del Novecento in generale.

McTaggart mette per primo in luce la cruciale distinzione tra proposizioni di tipo *tensionale*, del tipo “sono le tre e mezza” e proposizioni di tipo *atensionale*, come “venerdì viene prima di sabato”. Mentre le prime hanno valore di verità dipendente dal contesto (alle 3 e mezza una particolare occorrenza della proposizione è vera, mentre alle 4 è falsa), il valore di verità delle seconde non varia, visto che un’occorrenza di “venerdì è prima di sabato” è vera in qualunque giorno della settimana. Distinzioni come queste hanno introdotto sicuramente maggiore chiarezza nel dibattito sul tempo, soprattutto per ciò che riguarda le conseguenze che il nostro linguaggio ha sulla concezione metafisica del tempo. L’importanza dell’argomento di McTaggart, che ha lo scopo di provare che il tempo è irreali, è illustrata anche dal fatto che i cento anni successivi alla pubblicazione dell’articolo di McTaggart sono stati quasi dominati dalla discussione sul problema se le determinazioni di tipo tensionale (che corrispondono a ciò che lui chiama A-serie, la serie che va dal passato al presente al futuro) sono più fondamentali delle determinazioni atensionali (che corrispondono alla serie di eventi lungo la B-serie, ordinate da “prima di” o “dopo di”), o viceversa. E si è ormai capito che gli indicali temporali che caratterizzano le A-espressioni A (ossia quelle che utilizzano determinazioni di tipo A) non sono traducibili in espressioni contenenti solo relazioni temporali atensionali, anche se non c’è ancora accordo sull’esistenza di fatti tensionali visti come indipendenti dalla mente, né sulla realtà del divenire temporale.

Solo per fare un esempio, lo stesso Gödel fa riferimento all’articolo di McTaggart per sostenere che il tempo non è reale. Ed è interessante notare che malgrado il fatto che l’argomento di Mc-Taggart sia stato spesso riconosciuto come non valido dalla stragrande maggioranza dei filosofi, non è stato mai facile mettere in luce perché. La mia impressione è

¹ McTaggart, J.M.E., “The Unreality of Time,” in *The Philosophy of Time*, a cura di Le Poidevin, Robin, and McBeath, Murray, (Oxford University Press, 1993), pp. 23-34.



comunque che oggi l'argomento di McTaggart abbia esaurito le sue possibilità di incidere in maniera rilevante sulla ricerca futura sul tempo. Questo è decisamente anche determinato dal fatto che il metodo analitico in filosofia mostra tutti i suoi limiti quando pretende di indagare sulla natura del tempo prescindendo *in toto* dalla ricerca empirica delle scienze.

2. E' per questo che in *Futuro aperto e Libertà*² lei argomenta che le sole risorse della filosofia analitica non sono sufficienti per capire profondamente la natura del tempo?

Sì, quando si chiude in sé stessa, la filosofia finisce con l'isterilisti. Un po' come la matematica pura, con la quale ha molti punti di contatto: quando la matematica non ha alcuna applicazione, diventa un gioco molto brillante ma fine a sé stesso, e questa era anche l'opinione di Von Neumann. Il limite della filosofia analitica è che crede di risolvere tutte le questioni filosoficamente rilevanti tramite un'analisi del linguaggio. D'altro canto, il nostro linguaggio si basa su, e contribuisce a costruire, una teoria sul mondo che il grande filosofo americano Sellars chiamò "immagine manifesta del mondo". Il rischio che corre continuamente il filosofo analitico troppo chiuso all'indagine empirica, dunque, è quello di basare il suo lavoro solamente sull'immagine manifesta e non anche su quella scientifica del mondo. Questo è ovviamente un limite, visto che in generale la filosofia dovrebbe cercare di conciliare le due immagini in casi di conflitto, o tener conto di entrambe, e non essere una mera elaborazione dell'immagine manifesta.

Chi sostiene, come fa Simon Blackburn, che il filosofo è essenzialmente "un ingegnere dei concetti" ha fondamentalmente ragione, ma colui che lavora con concetti che provengono solo dal linguaggio ordinario non tiene conto che le scoperte scientifiche possono rivoluzionare o dimostrare l'infondatezza di parti dell'immagine manifesta. Mantenere sempre vivo il confronto tra immagine scientifica e immagine manifesta è essenziale anche nella filosofia del tempo. Solo per fare un esempio, prendiamo il presentismo, in base al quale esiste solo ciò che esiste nel presente. Ebbene, non appena si considerano le nostre più recenti teorie scientifiche, come la relatività einsteiniana, la posizione presentista, che dal punto di vista della filosofia analitica è perfettamente sostenibile, non solo perde molto del suo fascino e della sua profondità filosofica, ma diventa una posizione molto più difficilmente difendibile.

3. Nella ricerca sulla natura del tempo, la questione della realtà del divenire è stata a volte impostata nei termini di una questione sullo statuto ontologico del passato, presente e futuro. Lei invece critica tale approccio.

Quando ho cominciato nel '95 a lavorare sulla stesura di *Time and Reality*³, sono partito dal punto di vista che, se il divenire è reale, necessariamente il futuro non può essere considerato come esistente allo stesso modo del presente e del passato, ma va concettualizzato come "aperto", solo "possibile". Portando avanti la mia ricerca, però, e grazie anche all'influenza di Steven Savitt e Yuval Dolev, mi sono poi reso conto che le discussioni sulla realtà del futuro sono soprattutto determinate da malintesi fondamentalmente linguistici. Ricordiamo che l'*eternalismo* consiste nell'asserzione che tutti gli eventi (passati, presenti e futuri) sono ugualmente reali, mentre il *presentismo* consiste nell'asserzione che solo gli eventi che fanno parte del presente sono reali. Qui l'indagine linguistica si rivela importante, perché con un po'

² *Futuro aperto e libertà. Un'introduzione alla filosofia del tempo*, pref. di R. Bodei, 1997, Laterza, Roma Bari.

³ *Time and Reality. Spacetime physics and the objectivity of temporal becoming*. CLUEB, Bologna, 1995.



di analisi concettuale, il dibattito tra eternalisti e presentisti si rivela in effetti quantomeno mal impostato. Il punto sta nel modo in cui viene interpretata la copula “è” nella proposizione “l’evento F non è reale”. Prendiamo un evento F che appartiene al cono di luce futuro del punto p in cui, ad esempio, proferiamo l’enunciato “l’evento F non è reale”. Se la copula viene interpretata in senso tensionale, allora la nostra asserzione “l’evento F non è reale” significa semplicemente che l’evento F non esiste *ora* – e tale affermazione è banalmente vera. Né il presentista né l’eternalista possono essere in disaccordo. Ne segue allora che la copula deve essere interpretata in senso atensionale; ma allora l’asserzione “l’evento F non è reale” è ovviamente falsa, se dato che “ F è reale” nel senso atensionale della copula “è” significa che l’evento F è accaduto, accade ora o accadrà in futuro, cosicché nel caso dell’interpretazione atensionale di “ F non è reale” noi finiamo per negare che l’evento che accadrà in futuro accadrà. In conclusione, la tesi dell’irrealtà del futuro è o banale (il futuro non esiste ora) o contraddittoria (ciò che non esisterà esisterà). Il divenire deve allora essere concepito in maniera atensionale, e la questione del suo darsi nel mondo va tenuta separata dalla questione della realtà del futuro.

4. In *Time and Reality* lei prendeva posizione a favore della teoria statica del tempo, che allora lei pensava fosse impegnata a negare la realtà del divenire temporale. Crede ancora che la nostra radicata percezione del fluire temporale sia una domanda che riguarda solo la psicologia?

Anche in questo caso c’è stata una evoluzione rispetto alle mie precedenti posizioni, soprattutto per quanto riguarda la relatività speciale. Nel ’97 pensavo che la meccanica quantistica più la teoria della relatività speciale più il teorema di Stein sulla coestensione delle relazioni di connettibilità causale passata e di determinazione implicassero che tutti gli eventi sono determinati: nessun divenire.

Ora invece ritengo che persino nella relatività speciale esista un divenire indipendente dalla nostra mente, anche se di tipo più minimale rispetto al divenire di cui parlano gli A-teorici del tempo. Il divenire in relatività speciale può essere concepito come una successione di eventi in un tempo locale, un divenire quindi di tipo locale, non cosmico, ma ‘relativo’ a singole linee di universo, che è ancora compatibile con la teoria statica del tempo. Naturalmente, il divenire cosmico di cui parlano i cosmologi e di cui parlavo nell’ultimo capitolo del mio libro può appoggiarsi a un tempo cosmico. E su quello non ho cambiato idea! ⁴

5. Einstein era profondamente turbato dalla considerazione della netta sensazione umana che ci sia qualcosa di essenziale riguardante l’*Ora* e dall’impossibilità della scienza di comprendere tale sensazione. Carnap riporta nella sua autobiografia⁵ i dubbi di Einstein, concludendo poi che, a suo parere, questi derivassero dalla confusione tra esperienza e conoscenza. La scienza, dice Carnap, può dire tutto quello che c’è da dire, per cui non c’è alcuna domanda a cui essa non possa in principio rispondere. Lei condivide la risposta di Carnap, o piuttosto ritiene sensati i dubbi di Einstein?

⁴ A chi volesse approfondire tali tematiche e conoscere una più recente posizione di Mauro Dorato in proposito, suggeriamo la lettura di “On Becoming, Cosmic Time and Rotating Universes”, in *Time, Reality and Experience* a cura di C. Callender, Cambridge University Press (2001), pp. 253-277 (ndr)

⁵ Carnap, R. 1963. “Carnap’s Intellectual Biography” in *The Philosophy of Rudolf Carnap*, a cura di P. A. Schilpp, pp. 3-84. La Salle, IL: Open Court.



Devo ammettere che la distinzione di Carnap a tal proposito non mi è chiarissima. Ovviamente il presente non può essere parte dell'insieme di leggi fisiche, nella misura in cui l'essere presente implica l'esistenza di un *Ora* con uno statuto ontologico che non può trovare spazio nella fisica.

Credo però che Einstein avesse ragione nel dire che il presente ha un'importanza pragmatica che non può essere sottovalutata e che infatti è stata parte centrale di varie filosofie o concezioni etiche della vita. Basta considerare il profondo significato che viene attribuito al motto oraziano "carpe diem", o l'etica ellenistica, che invita a vivere il presente come se fosse l'ultimo momento della vita che abbiamo a disposizione. In un certo senso al presente viene affidato un significato quasi mistico, laddove nei momenti di gioia intensa il momento presente si dilata fino ad assumere un significato di eternità. Tali aspetti ovviamente non possono venire compresi dalla scienza, ma questo non significa, come credo abbia compreso Einstein, che essi non siano una parte importante della nostra concezione del tempo.

6. A suo avviso potremo avere a breve una migliore comprensione su come connettere i concetti di tempo che appaiono nelle nostre teorie fisiche fondamentali con il tempo fenomenologico, il fluire degli eventi come noi lo esperiamo?

Le possibilità mi sembrano davvero minime allo stato attuale della scienza. Non credo che nel prossimo futuro ci sarà la possibilità di creare un ponte tra le due descrizioni del tempo. Se potessimo dare una descrizione della mente basata sulla fisica fondamentale, avremmo risolto il problema della coscienza, e mi sembra che siamo ancora lontani da questo obiettivo, malgrado i numerosi progressi. E se pure dovessimo avere a breve una teoria riduzionista della coscienza, tale teoria sarebbe formulata nel linguaggio della neurofisiologia, non della fisica fondamentale. Le possibilità di una connessione tra fisica fondamentale e coscienza sono talmente basse che a mio parere sono da escludere. E questo malgrado uno dei migliori matematici della prima metà del secolo scorso, John von Neumann, affidasse alla coscienza il ruolo di assegnare al mondo macroscopico quei familiari aspetti definiti che sono invece compromessi dalla descrizione quantistica del mondo.

7. Torniamo alla nozione di divenire *relativo*. In "Absolute becoming, relational becoming and the arrow of time: Some non-conventional remarks on the relationship between physics and metaphysics"⁶ lei sostiene che la fisica non può fornire alcuna evidenza empirica non solo per la realtà del divenire assoluto, ma nemmeno per la realtà del divenire relativo. Contrariamente alla letteratura generale sull'argomento, inoltre, nello stesso articolo suggerisce che la questione del divenire relativo sia fondamentale legata alle varie frecce del tempo. In che modo le due questioni sono legate e reciprocamente rilevanti nella sua concezione di divenire relativo?

Il divenire assoluto è il venire in essere degli eventi, il loro accadere, indipendentemente da una particolare struttura spaziotemporale. Se una teoria fisica assume una ontologia di eventi spazio-temporalmente separati, assume automaticamente anche il divenire, per così dire a

⁶ "Absolute becoming, relational becoming and the arrow of time: Some non conventional remarks on the relationship between physics and metaphysics", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 37, 3, Sep 2006, 559-576.



priori. Ecco perché il divenire assoluto è piuttosto una presupposizione della fisica che un elemento da valutare a posteriori alla luce della fisica. Una volta che si presuppone una struttura spaziotemporale, si ha divenire temporale se gli eventi coinvolti sono separati da intervalli di tipo tempo, divenire spaziale se gli eventi coinvolti occorrono tutti allo stesso tempo. Nel caso dello spaziotempo di Newton, si ha divenire spaziale oggettivo perché c'è una relazione assoluta di simultaneità: si ha lo stesso spazio per tutti gli osservatori inerziali; nel caso dello spaziotempo di Minkowski, c'è invece solo divenire temporale di un punto rispetto a un altro, ma non c'è divenire spaziale invariante, e ciò a causa del fatto che due osservatori inerziali in moto reciproco non condividono la relazione di simultaneità.

Avendo separato la questione del divenire da problemi ontologici legati allo statuto degli eventi futuri, si deve collocare il problema del divenire all'interno della complessa questione della freccia del tempo: per esempio, perché possiamo assumere una relazione di connettività causale passata, come fa Stein nel suo teorema? Abbiamo evidenze indipendenti dal nostro proposito di definire il divenire per fare questa mossa? E possiamo definire le altre frecce del tempo nei termini di quella causale? O forse il divenire nel tempo degli eventi è la freccia fondamentale in termini della quale definire quella causale?

8. Nel suo *Il Software dell'universo. Saggio sulle leggi di natura*⁷ lei fornisce una rassegna dei vari problemi filosofici legati alle Leggi di Natura. Tra questi problemi c'è anche quello della simmetria temporale di alcune delle leggi fondamentali della Natura. Perché la simmetria di tali leggi è considerato un problema fisico e filosofico rilevante?

In effetti, l'unica legge temporalmente asimmetrica è quella che regola il decadimento di alcune particelle nelle interazioni deboli (i mesoni K); queste particelle violano la cosiddetta trasformazione di Parità P (la riflessione allo specchio di un processo di decadimento non è identica al processo originario) e anche la coniugazione di carica C (la trasformazione di una particella di una carica positiva in una carica negativa e viceversa non è identica nei due casi), e quindi violano la simmetria temporale T. Questo lo si può ricavare dalla validità del cosiddetto teorema CPT, che dice che se riflettiamo allo specchio particelle e antiparticelle, invertendo la direzione del tempo otteniamo un universo equivalente al nostro. Poiché le particelle in questione violano sia C che P, affinché il teorema CPT sia rispettato devono violare anche T, cioè il loro decadimento è temporalmente asimmetrico. Tutte le altre leggi note sono invece temporalmente simmetriche, e quindi non distinguono tra passato e futuro. Più precisamente, un processo che si svolge nel modo a, b, c può anche svolgersi nel modo c, b, a , con opportune trasformazioni nello stato di a, b e c . Questo significa che l'irreversibilità dei processi che ci circondano, dal latte che si mischia nel caffè alla rottura di un bicchiere, o sono legati alla violazione della parità e della carica dei muoni o sono dovuti alla prevalenza di certe condizioni iniziali. La seconda ipotesi sembra attualmente più probabile della prima.

9. In *Futuro aperto e Libertà*, e più dettagliatamente nell'articolo "On Becoming, Relativity and Non-separability"⁸ lei sostiene che il fatto che passato, presente e futuro abbiano lo stesso statuto ontologico sia una conseguenza della nonlocalità della meccanica quantistica. Una delle premesse dell'argomento che lei propone è che le relazioni EPR vadano spiegate con una legame causale – premessa che rifiuta chiaramente la posizione proposta da Arthur Fine che le relazioni EPR non vadano invece spiegate, ma siano da considerarsi naturali, nel senso di non causate. La pensa ancora così? Il fatto che invece le

⁷ *Il software dell'Universo. Saggio sulle leggi di natura*, Bruno Mondadori, Milano 2000.

⁸ "On Becoming, Relativity, and Nonseparability", *Philosophy of Science*, 64, 4, 1996, pp.585-604.



relazioni EPR non vadano spiegate casualmente, può cambiare qualcosa nelle sue conclusioni riguardo alla accettabilità della visione dinamica del tempo?

In effetti ora sono giunto alla conclusione che sia più utile assumere che le correlazioni EPR non vadano spiegate tramite qualche modello causale. Prima della misura, le due particelle, invece, vanno concepite come un unico tipo di oggetto che possiede solo relazioni. Questo, comunque, non implica che i due eventi corrispondenti alle due misure ai capi opposti dell'apparato sperimentale siano indeterminati l'uno rispetto all'altro: c'è un fatto definito che ci permette di dire che un evento è determinato rispetto all'altro, anche se tra i due eventi non c'è legame causale. Dunque il teorema di Stein è incompatibile con la meccanica quantistica. Ma Myrvold non è d'accordo e lo ha sostenuto di recente in un bell'articolo del 2003⁹.

10. In *Time and Reality* lei afferma che dopo la rivoluzione relativistica, l'idea di una evoluzione del mondo nel tempo (l'avanzare del fiume del tempo) va abbandonata e rimpiazzata con un incrocio non coerente di onde associate con le 'prospettive' cronologiche dei diversi punti lungo delle linee di mondo. Mentre la relatività speciale dovrebbe dunque mettere in crisi la realtà delle determinazioni di tipo A, la relatività generale mette in crisi la realtà delle determinazioni di tipo B. La cosa è evidente nella formulazione quantistica della teoria, dato che l'equazione di Wheeler-DeWitt, l'equazione di Schrödinger per la relatività generale, è atemporale. Alcuni filosofi e fisici, tra cui John Earman e Carlo Rovelli, affermano però che la crisi delle determinazioni di tipo B è già evidente nella formulazione non quantizzata della relatività generale.

Tenderei a pensare che ciononostante la fisica classica (relatività generale inclusa) non ci insegna che il tempo e il divenire non esistono. Forse a livello quantistico, quando unificiamo la gravità con la meccanica quantistica, allora dobbiamo far sparire il tempo, ma anche in questo settore la ipotesi è assai controversa (Smolin per esempio è in disaccordo con Rovelli su questo punto). Se si guarda alla cosmologia, che si appoggia a modelli relativistici della relatività generale, troviamo per esempio che i cosmologi cercano di descrivere *quando* avvenne la formazione dei pianeti e delle stelle, e ovviamente fanno affermazioni sul fatto che alcuni eventi avvengono prima di altri. E questo "prima di", grazie al principio cosmologico, è valido per tutti i cosiddetti osservatori fondamentali, almeno negli universi assai simmetrici (omogenei e isotropi) come sembra essere il nostro. La nozione di evoluzione, insomma, sembra la nozione unificante, anche in cosmologia. A questo livello si parla di evoluzione attraverso la postulazione di un tempo cosmico, che ha caratteri statistici, ma l'idea del cambiamento e dell'evoluzione rimane pur sempre alla base della scienza cosmologica. Quindi il tempo nella cosmologia classica (non quantistica) c'è. Poi con Massimo Pauri, nel saggio "Holism and Structuralism in Classical and Quantum General Relativity"¹⁰, abbiamo cercato di sostenere, appoggiandoci a suoi lavori con Lusanna, che la deriva atemporale à la Earman riguarda solo alcuni modelli della relatività generale classica, quelli compatti, mentre nei modelli asintoticamente piatti il cambiamento rimane.

⁹Wayne C. Myrvold "Relativistic Quantum Becoming" *British Journal for the Philosophy of Science*, Sep 2003; 54: 475 - 500.

¹⁰ "Holism and Structuralism in Classical and Quantum General Relativity", in, M. Dorato, M. Pauri, *Structural Foundations of Quantum Gravity*, a cura di D. Rickles, S. French and J. Saatsi, Oxford University Press, Oxford, 2006, pp.121-151.



11. I difensori del programma della decoerenza in meccanica quantistica affermano che la decoerenza possa spiegare l'apparenza dello scorrere del tempo, nonostante la sua irrealità. D'altronde, altri filosofi mettono in dubbio le reali potenzialità del programma della decoerenza. Lei crede che la decoerenza possa spiegare finalmente l'apparenza dello scorrere del tempo?

Io non credo che lo scorrere del tempo sia un'apparenza. Se per scorrere del tempo si considera l'avvenire ordinato degli eventi (dove ordinato significa che esistono tra gli eventi relazioni di ordine, magari parziale), allora esso è un dato di fatto. La decoerenza può (ma è ancora presto per affermare una cosa del genere) semmai spiegare l'emergere dello scorrere del tempo in scala macroscopica, ma questo ovviamente non implica la negazione della sua realtà o che il divenire sia un fenomeno meramente mentale.

12. Crede che le nostre attuali teorie fisiche ci aiutino davvero a capire la direzione del tempo, ossia il fatto che sembra esistere una direzione preferita nel flusso degli eventi dal passato verso il futuro? Per esempio, sentiamo spesso parlare di "freccia del tempo termodinamica", ossia l'idea che la seconda legge della termodinamica (che afferma che l'entropia di un sistema chiuso continui ad aumentare) individui una direzione preferita. Se però si guarda più a fondo, suggeriscono alcuni autori, tali spiegazioni implicano assunzioni che possono essere considerate dubbie (ad esempio che l'universo era inizialmente in uno stato di bassa entropia). Lo stesso, per inciso, vale anche per la decoerenza. Pensa che la seconda legge della termodinamica ci dia una comprensione della direzione del tempo?

La seconda legge della termodinamica non spiega la freccia del tempo: è ciò in cui in parte consiste. La seconda legge ammette infatti quella simmetria temporale tipica delle situazioni paradossali di Loschmidt, di Zermelo, o il teorema di ricorrenza di Poincaré, creando un potenziale conflitto tra la asimmetria temporale della termodinamica e la simmetria temporale della meccanica. L'assunzione dell'iniziale bassa entropia dell'universo (quella che viene chiamata the past hypothesis, e che tenta proprio di spiegare la freccia termodinamica del tempo) manca in effetti essa stessa di una spiegazione, ma pare essere l'assunzione più plausibile per spiegare perché l'entropia dell'universo cresce.

13. Se il determinismo presuppone una struttura lineare, mentre l'indeterminismo presuppone una struttura del tempo ad albero, con un passato determinato ed un futuro aperto, come si può conciliare il determinismo con libertà umana?

In effetti la concezione di libertà sulla quale secondo me possiamo fare affidamento è una forma di libertà meno ampia di quella che è generalmente presupposta dal senso comune. Certo, non possiamo più sostenere di possedere una libertà del *volere*, dato che questa è in effetti incompatibile con le nostre moderne conoscenze scientifiche. La libertà che continuiamo a possedere è invece una libertà del *fare*, che è determinata dal nostro potere causale rispetto al nostro corpo e alla nostra mente. In questo senso, una persona libera è una persona che può controllare la propria mano senza avere tremori che rendano impossibile la prensione, o una persona che è libera da manie ossessive, e che riesce dunque almeno in parte a controllare i propri pensieri.

Libertà, in questo senso, implica un *parziale* controllo delle proprie azioni e della propria mente: la possibilità di compiere quelle azioni che vogliamo compiere, benché i desideri siano fissati in senso deterministico.



- 14. Nella relatività generale esistono soluzioni delle equazioni di Einstein che ammettono la possibilità di viaggi nel tempo – ovvero l'esistenza di curve di tipo tempo chiuse. Sulla base di tali risultati, molti filosofi immaginano affascinanti scenari fantascientifici che poi usano per trarne conclusioni filosofiche. D'altro canto, lei pensa che qualcuna di questi soluzioni sia davvero fisicamente possibile? In altre parole, pensa che perché una soluzione possa rappresentare un mondo fisicamente possibile, è sufficiente che essa soddisfi le equazioni fondamentali della relatività generale? Oppure crede che perché possiamo giustificatamente credere che una soluzione sia fisicamente possibile ci siano altre condizioni che devono essere soddisfatte?**

Io penso che se una soluzione è compatibile con una legge fisica (le equazioni di campo), allora è fisicamente possibile per definizione. Poi ci sono le difficoltà logiche dei viaggi nel tempo (uccidere il nonno prima che questo genera il proprio padre, etc.). Ma anche queste possono essere risolte, postulando limiti alla fattibilità di certe azioni: se torno indietro nel tempo e provo a uccidere il mio nonno giovanetto inciampo e cado, oppure non lo riesco a colpire, etc. Naturalmente il mio nonno giovanetto ha un passato con un evento di questo tipo: viaggiare indietro nel tempo non implica affatto la possibilità di cambiare il passato, ma neanche si può dire che possiamo cambiare il futuro.

- 15. In relatività speciale, spazio e tempo vengono uniti nello *spaziotempo* e diventano aspetti di una entità quadridimensionale unificata. Da questa prospettiva, però, sembra curioso che lo "spazio" abbia tre dimensioni, mentre il "tempo" solo una, o che il tempo abbia una direzione, mentre lo spazio no. Cosa rende il tempo così speciale?**

Ci sono teorie che postulano una doppia dimensione anche per il tempo, ma effettivamente per ora non hanno preso piede. Le tre dimensioni dello spazio per Kant erano legate alla legge di gravitazione universale di Newton, e poi ci sono stati altri tentativi di spiegarle, a partire da spazi con dimensioni compattificate, cioè ripiegate su sé stesse, come nella teoria delle stringhe. La unidimensionalità del tempo sembra legata alla nostra esperienza, ma ciò non implica affatto la sua linearità, ovvero il fatto che il tempo non possa essere ramificato. E sebbene i branching models (modelli ramificati) dello spazio-tempo postulati dalla teoria a molti mondi della meccanica quantistica non mi convincano, essi complicano certamente il nostro guardare al tempo come a una semplice "linea retta" isomorfa alla retta dei numeri reali.