



I QUADERNI DE
La Via delle
SCIENZE

autunno 2017



"I progressi fondamentali hanno a che fare con la reinterpretazione delle idee basilari"

Alfred North Whitehead

ricordando Graziana

Se si dovessero elencare le arti più adatte a esprimere concetti legati al tempo, la pittura non apparirebbe certamente ai primi posti, battuta da musica, teatro, cinematografia. E tuttavia, il quadro di Giorgione in copertina ("Col tempo", nelle collezioni delle Gallerie dell'Accademia a Venezia) riesce a essere una fulminante sintesi del nostro stato di sudditanza al Tempo, e il cartiglio tra le mani della vecchia donna rappresentata nel dipinto ne è una toccante testimonianza.



L'indice rivolto al proprio petto mostra con precisione dove il Tempo risiede: e su tale riflessione, così coinvolgente per noi da parte di un uomo non ancora giunto ai trent'anni, e che vecchio non avrebbe avuto in sorte di diventare, le attuali neuroscienze si troverebbero, crediamo, perfettamente in accordo.

Introduzione

“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, attore

La quantità di percorsi che si potrebbero intraprendere nel tentativo di sfiorare le tappe salienti (ma quali lo sono più delle altre?) per tracciare una mappa della nostra idea di Tempo è tale da scoraggiare qualunque ambizione alla sistematicità.

Lo spirito di questo scritto non può essere dunque che quello, volutamente dilettantesco, di chi va a caccia di farfalle senza la pretesa di una rigorosa classificazione entomologica, per lasciarsi semplicemente catturare dal colore e dal disegno delle loro ali, e ne crea una minuscola, personale, pressoché casuale collezione.

Ci occuperemo qui principalmente di viaggi nel Tempo (a rigor di termini, nello Spaziotempo - si veda l'Appendice 5): e, *ça va sans dire*, dei “veri” viaggi, quelli nel Passato: ché verso il Futuro ci muoviamo tutti comunque, anche mentre leggiamo questa frase.

Benché non ne tratteremo qui, ogni lettore avvertito sa di poter agevolmente compiere un profondo viaggio temporale ogniqualvolta apre un libro scritto in altra epoca – preferibilmente un romanzo – , assiste alla rappresentazione di un testo teatrale, di un'opera musicale o visita luoghi densi di storia.

In fondo al testo principale sono state inserite alcune appendici più tecniche, che possono essere saltate da quanti dispongano già di sufficienti conoscenze di Fisica.

I numeri in parentesi quadre nel testo costituiscono i rimandi alla bibliografia / sitografia / filmografia finali.

Nelle ultime pagine, infine, un breve richiamo agli appuntamenti della stagione e agli Ospiti che ne costituiranno il fulcro.

Buona lettura.

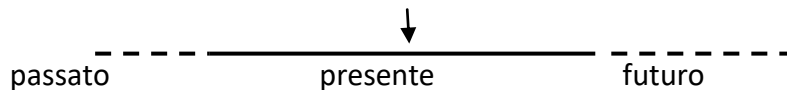
il curatore
Giulio Nardon

Tempo: tentativi di percorsi non lineari

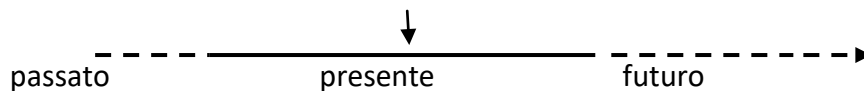
“Già adesso lo sviluppo della teoria ci consente di distinguere diversi livelli di tempo: il tempo associato con la dinamica classica e quella quantistica, il tempo associato con l'irreversibilità (...) e il tempo associato alla "storia" attraverso le biforcazioni. Credo che questa diversificazione del concetto di tempo permetta una migliore integrazione della fisica teorica e della chimica con discipline che riguardano altri aspetti della natura.”

Ilya Prigogine, chimico e fisico

Se chiedessimo a qualcuno di descriverci la sua idea dello svolgersi del Tempo, magari con un semplice disegno, non è improbabile che ci verrebbe mostrata una linea retta, continua, che si estende, a partire dall'istante presente, sia verso il futuro che il passato, più o meno come in figura:



È nostra comune esperienza di poter percorrere tale retta in un solo possibile verso, dal passato al futuro; completeremo dunque la figura con una freccia (la Freccia del Tempo):



Un tracciato così semplice e apparentemente ovvio secondo la nostra limitata esperienza solleva però non pochi dubbi e obiezioni: cercheremo in queste righe di esaminare alcuni percorsi alternativi, consapevoli di proporre itinerari non sempre lineari e di muoverci in territori incerti.

1.

Questa retta ha dei limiti, in uno o in entrambi i versi in cui si estende?

“L’inizio del tempo si verificò all’inizio della notte che precedeva il ventitreesimo giorno di ottobre dell’anno 4004 prima di Cristo”

James Ussher, vescovo (1611)

Molti (siano essi credenti di una fede monoteista o sostenitori della teoria del Big Bang), pensano che in realtà esiste un Punto di Inizio della retta (per i cosmologi, fissato a quasi 14 miliardi di anni fa; per i sostenitori del Disegno Intelligente, a circa 6 mila): si tratta di una Singolarità, prima della quale il concetto di tempo perde di significato.

In base al II principio della Termodinamica (Appendice 4), poiché l’evoluzione avviene con aumento di entropia, dobbiamo ipotizzare un istante in cui l’intero Universo era in uno stato estremamente ordinato. Le nostre possibilità, anche solo puramente concettuali, di avvicinarci,

procedendo a ritroso verso questo limite ($T = 0$), si bloccano in base al principio di indeterminazione di Heisenberg a un tempo $t_p =$ tempo di Planck $\sim 10^{-43}$ secondi (Appendice 2).

Ciò di cui siamo in ogni caso sicuri è che tale evento singolare non è descrivibile con la sola teoria della relatività e necessita di nuove teorie (una teoria quantistica della gravità?) che ci conducano a ulteriori conoscenze, suffragate da conferme sperimentali.

Assai più sfumato l'estremo opposto – ammesso che esista - perduto nella nebbia di un imprevedibile futuro, che per alcuni porterà alla Fine dei Tempi, laddove assai meno univoche sono le previsioni scientifiche. Quasi abbandonata l'idea di un Universo che ri-collassa su se stesso dopo aver raggiunto il massimo della sua estensione (idea poco compatibile con la scoperta che in realtà il Cosmo non sembra avere alcuna intenzione di tornare sui suoi passi, visto che sta addirittura accelerando la sua espansione), dovremo presumibilmente pensare a un Universo futuro così espanso e rarefatto da essersi svuotato, alla vista dei suoi futuri abitanti - non noi, la Terra avrà cessato di esistere da molto tempo – di ogni altra galassia che non sia quella in cui essi vivono. Un Universo sempre più freddo, nel quale sempre meno nuove stelle possano accendersi: un'estrema glaciazione cosmica, senza via di ritorno.

Vale la pena prendere in considerazione un modello alternativo, che deriva dalla Teoria delle Stringhe (Appendice 6): in alcune sue possibili versioni essa prevede un Universo che oscilla, continuando a riformarsi dal naufragio cosmico dello scontro tra Brane multidimensionali (si veda anche, più avanti, il paradosso del tempo circolare).

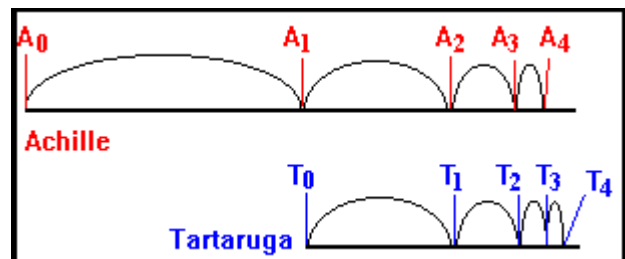
2.

È possibile “ingrandire” a piacimento la scala della nostra retta, esplorandone intervalli sempre più minuti, o si finirà per scoprire una “granulosità” del tempo?

“Einstein diceva che se la meccanica quantistica è corretta, allora il mondo è folle. Bene, Einstein aveva ragione. Il mondo è folle.”

Daniel Greenberger, fisico quantistico

A partire dalla ipotesi di un tempo “continuo” giungiamo di filato al primo e più celebre dei grandi paradossi del tempo, elaborato da Zenone di Elea (V sec. a.C.): nell'inseguimento della tartaruga, Achille più veloce percorre la distanza che lo separa dall'animale; ma, nel frattempo, anche la tartaruga si sposterà di quanto le sue corte zampe glielo consentono. Achille percorre anche questa distanza, ma invano: la tartaruga si è spostata (di poco) anche da quel punto. A ogni punto raggiunto, un nuovo scacco: la tartaruga non è più lì. Dunque, Achille non raggiungerà mai la sua avversaria. In realtà, la tartaruga nella nostra storia è un elemento sovrabbondante: anche senza di lei, il paradosso rimane; per arrivare in un punto qualsiasi, Achille deve percorrere metà del percorso, poi la metà di quanto rimasto,



poi ancora la metà del rimanente ... e non giunge mai alla destinazione finale (in barba al fatto che a noi capita il contrario).

Oggi disponiamo di sensate risposte a questo problema. Quella matematica innanzitutto: la somma degli spostamenti (e dei tempi impiegati) di ciascuno dei due avversari è in realtà una serie convergente: benché ci venga richiesto di sommare infiniti termini, il risultato è finito (es.: la somma infinita $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \dots$ tende a 2). Ma ne esiste anche una fisica, che ci riporta alla nostra domanda: gli intervalli di tempo di ogni spostamento si fanno sempre più brevi, fino a giungere al limite di Planck (Appendice 2) : ma sotto questo limite non siamo più autorizzati a trattare il tempo come se fosse continuo: la serie si interrompe, l'inseguitore raggiunge l'inseguita o la sua destinazione.

Se in Fisica il Tempo non può essere suddiviso indefinitamente in intervalli sempre più piccoli, quello individuale della nostra coscienza ha una granulosità ancora più vistosa.

“Il ritardo neuronale fra evento e coscienza di esso viene chiamato da Libet *retroactive referral time*, cioè 'rimando retroattivo', di cui non si ha coscienza e che non entra nella memoria. La compressione inconscia di quel tempo significa che del presente diventiamo consapevoli sempre con mezzo secondo di ritardo. (...) Si vive nel passato. Il presente (...) è retrocesso dai dati sperimentali delle neuroscienze a un passato inevitabile, a causa del tempo (compreso e di cui non si è coscienti) necessario ai meccanismi nervosi della coscienza per percepirlo.” [05]

L'analogia con la cinematografia appare convincente: quello che sembra continuo non è che l'illusione di una serie di immagini fisse proiettate con la corretta cadenza; sembrerebbe dunque inevitabile trattare il Tempo in modo quantizzato e non continuo; il “quanto” di Tempo, il singolo fotogramma, viene fissato dalle singole discipline che di Tempo si occupano (senza scendere mai sotto il Tempo di Planck).

3.

È davvero impossibile violare la Freccia del Tempo e invertirne la rotta?

“L'uomo vive nel tempo, nella successione del tempo, e il magico animale nell'attualità, nell'eternità.”

Jorge Luis Borges, scrittore

Leggiamo con attenzione due frammenti da testi che ci riportano a questo tema:

“Neanche il mangiare è attraente ... Diversi pezzi vengono trattenuti nella mia bocca e, dopo un efficiente massaggio con lingua e denti, li sposto sul piatto per un'ulteriore scultura con coltello, forchetta e cucchiaio. Questo, se non altro, è abbastanza terapeutico, a meno che uno non abbia della minestra o qualcosa del genere, perché può essere una vera condanna. Poi devi affrontare l'arduo compito di rinfrescare, di radunare e metter via, prima di restituire queste cibarie al Superette dove, in effetti, vengo immediatamente e generosamente

rimborsato per le mie fatiche. Ripercorri allora i corridoi con un carrello o un panierino, rimettendo ogni scatola e ogni pacchetto al proprio posto.” [21]

“Avvolto in una voluminosa coperta bianca, e in parte ficcato in una culla, stava seduto un vecchio all'apparenza sui settant'anni. I radi capelli erano quasi bianchi, e dal mento stillava una lunga barba grigio fumo, che ondeggiava in modo assurdo, sospinta dalla corrente che proveniva dalla finestra. Questi sollevò lo sguardo su Mister Button con occhi offuscati e sbiaditi nei quali si annidava un confuso interrogativo.

“Sono diventato pazzo?” Tuonò Mister Button, col terrore che sfociava in rabbia, “Cos'è questo, un pessimo scherzo da dottori?”.

“A me non sembra affatto uno scherzo” replicò secca l'infermiera. “E non so dirle se lei sia pazzo o meno, ma so di certo che questo è suo figlio”. (...) Nessun errore: aveva davanti un uomo sulla settantina – un *bambino* sulla settantina, un bambino che se ne stava con i piedi penzoloni fuori della culla”. [28]

Il primo dei due racconti narra la storia di un anziano ex ufficiale nazista, medico in un campo di concentramento. Il suo racconto a ritroso ce lo mostra sempre più giovane, in una vita che, così narrata, cambia completamente di prospettiva, portandoci a vedere un uomo che letteralmente ridà vita e salute alle sue vittime; nessun giudizio morale sospende l'effetto straniante della storia.

Nel secondo racconto (da cui è stato tratto un film qualche anno fa [50]), il bimbo-vecchio ripercorre anch'egli la sua vita al contrario (ma qui solo in senso biologico), fino a una inevitabile morte in fasce, ove la demenza senile si confonde con l'insensatezza infantile.

L'assurdità logica di entrambe le storie ci porta a pensare che qui abbiamo toccato un punto di certezza. Ma è veramente così? Il Tempo è una dimensione asimmetrica, lungo la quale ci si può muovere solo in un'unica direzione o esistono eccezioni? La questione è meno ovvia di quanto non appaia: a livello subatomico la freccia del tempo sembra essere più “incerta”: ma questa affermazione merita di essere approfondita.

Pensiamo al filmato di un uovo che, a contatto col calore sotto il tegame, si trasforma in una frittata, e confrontiamolo con quello di un pendolo che oscilla, ripreso per un tempo sufficientemente breve; ora, proviamo a immaginare entrambi i filmati proiettati al contrario, dalla fine al principio, come appaiono i due spezzoni di racconto presentati. Nel primo, la frittata che torna uovo appare palesemente assurda; il secondo è più credibile, a meno che gli effetti dell'attrito, che rallentano sistematicamente l'oscillazione, non si notino in modo evidente. L'attrito e altri effetti di natura termodinamica, legati al calore e alla sua diffusione fanno tutti capo a uno dei principi più controversi e appassionanti dell'intera Fisica ottocentesca, il monumentale Il Principio della Termodinamica: ad esso viene di consueto legato il verso della “Freccia del Tempo” (Appendice 4).

Le equazioni che descrivono correttamente i processi fisici subatomici, (salvo qualche rara eccezione scoperta recentemente: ved. F.Anulli, “La freccia microscopica del tempo”, in [02]), funzionano in modo perfettamente indipendente dal verso del Tempo; questo ha un senso, visto la natura probabilistica del principio sopra descritto: tutti i singoli eventi elementari sono

perfettamente reversibili, mentre non lo è il loro complesso; ma porta anche come conseguenza che, nella fisica delle particelle, sia molto logico veder sfumare l'importanza della dimensione Tempo, che non appare più il parametro fondamentale che è alla nostra scala di grandezze e tende a svanire come ipotesi non necessaria alla spiegazione dei fatti ("il tempo è un'illusione", A. Einstein).

A livello macroscopico invece la freccia termodinamica del Tempo è ben reale, e a sua volta si connette con quella cosmologica (possiamo concettualmente "datare" un istante dell'Universo in base al suo livello di ordine).

Potrebbe, dunque, il Tempo essere una proprietà emergente?

4.

Il modello lineare (Newtoniano) del tempo è davvero l'unico possibile?

"Quanto dura un minuto, dipende da quale lato della porta del bagno si è."

Arthur Bloch, umorista

Se ci rifacciamo alla nostra esperienza come oggi le neuroscienze la interpretano, il passato è continuamente rielaborato e manipolato, e non puramente ri-proiettato, dalla memoria, man mano che ci allontaniamo dagli eventi che essa (in)fedelmente rappresenta.

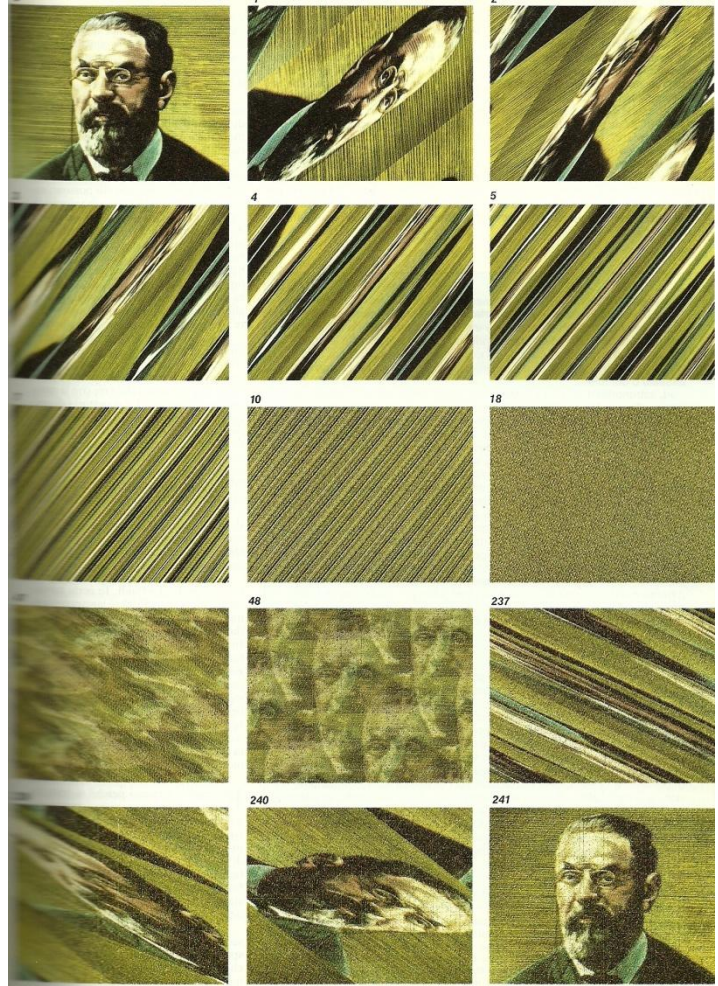
Ma non è così anche per la Storia, che si è sovente reinventata per influenzare il futuro? Quanti i personaggi cancellati *a posteriori*, fino a sparire dalle foto ufficiali, ad esempio nell'URSS staliniana? Ma gli esempi non si limitano alle sole "sparizioni" del passato: basta pensare ad alcuni miti fondanti, come quelli che hanno sapientemente re-inventato il passato della Scozia e dei suoi Clan, favorendo la nascita di un nazionalismo ancora fiorente:

"Per «tradizione inventata» s'intende un insieme di pratiche, in genere regolate da norme apertamente o tacitamente accettate, e dotate di una natura rituale o simbolica, che si propongono di inculcare determinati valori e norme di comportamento ripetitive nelle quali è automaticamente implicita la continuità col passato. Di fatto, laddove è possibile, tentano in genere di affermare la propria continuità con un passato storico opportunamente selezionato. [...]

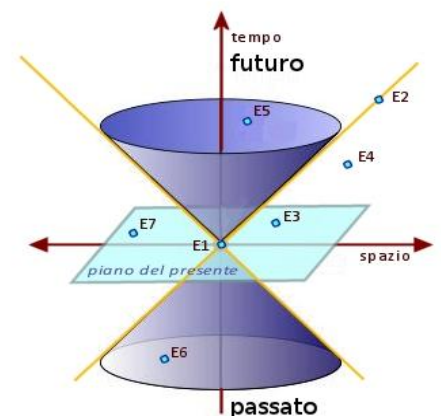
Comunque sia, laddove si dà un riferimento a un determinato passato storico, è caratteristico delle tradizioni "inventare" il fatto che l'aspetto della continuità sia in larga misura fittizio. In poche parole, si tratta di risposte a situazioni affatto nuove, che assumono la forma di riferimenti a situazioni antiche, o che si costruiscono un passato proprio attraverso la ripetitività quasi obbligatoria. (...) non esiste probabilmente un'epoca o un luogo di cui gli storici si siano occupati che non abbia assistito all'"invenzione" di una tradizione intesa in questo senso". [30],[32]

E che dire della Storia dell'Arte? Quanta parte dell'arte occidentale è stata fondata su un mito 'in bianco e nero' dell'arte statuaria greca, che è stata al contrario coloratissima? Anche in questo caso, il futuro si è costruito a partire da un passato mai esistito. [33],[34]

Particolarmente stimolanti le considerazioni di H.M. Enzensberger [27], nelle quali viene descritto un tempo che, lungi dall'avanzare linearmente verso un futuro a partire dal passato, procede invece, per continue influenze "retroattive", ma senza mai ripetersi esattamente, seguendo un modello matematico non casualmente detto "trasformazione del fornaio", poiché simula il lavoro di impastare la sfoglia. In tale tempo ci si muove allontanandosi e avvicinandosi in modo imprevedibile (si veda l'effetto di ripetizioni successive di tale trasformazione sull'immagine qui riportata (da [01]), che riproduce il viso di Henry Poincaré (l'ultima immagine è stata ottenuta dopo 241 applicazioni successive del processo)).



Ma, almeno nelle scienze fisiche, possiamo pensare che le cose siano più semplici e lineari? Non proprio. Facciamo riferimento ai coni del tempo (Appendice 5). Ora la possibilità di uno spostamento nel tempo, con modalità "non convenzionali" e in contraddizione con la logica quotidiana, riceve un suggello scientifico autorevole, sul quale peraltro si basano molti tra i migliori racconti o film di una science-fiction che con il tempo ha imparato a giocare per proporre stimolanti paradossi; alcuni di essi sono divenuti esempi di scuola anche per una seria



discussione sulle frontiere del possibile: è stato anzi in alcuni casi proprio per risolvere problematiche legate alla sceneggiatura di film di Hollywood che seri scienziati / autori (come Carl Sagan con "Contact", [51] o, più recentemente, Kip Thorne con "Interstellar", [52]) hanno dato il via a esplorazioni di possibilità scientifiche di viaggi del tempo.

Eccone alcuni esempi:

Paradosso dei gemelli

È forse una delle conseguenze più popolari della teoria della relatività di Einstein: si tratta di un paradosso che contraddice la logica comune, ma è scientificamente corretto e anzi dimostrato (anche se non utilizzando dei gemelli umani).

L'esperimento ideale è il seguente: sulla terra vi sono due gemelli, uno parte per un viaggio di andata e ritorno per una stella lontana, mentre l'altro rimane ad aspettarlo sulla Terra. Assumendo che il viaggio interstellare possa essere compiuto a velocità prossime a quelle della luce, la teoria prevede che, al ritorno a casa, il gemello "viaggiatore" sia invecchiato molto meno di quello "terrestre". Agli occhi del gemello in viaggio, però, è il nostro pianeta che si sta allontanando, per cui gli orologi sulla Terra saranno più lenti e, dal suo punto di vista, è il gemello rimasto a casa a invecchiare meno. Non possono aver ragione entrambi. Un primo aspetto che appare paradossale nella storia dei due gemelli, una volta accettata la diversa durata soggettiva del tempo trascorso, è l'apparente simmetria del sistema: scegliendo l'astronave come sistema di riferimento è la Terra che si allontana o si avvicina a velocità prossime a quelle della luce. Dunque, perché alla fine del viaggio c'è una differenza tra i tempi misurati dai due gemelli?

La soluzione è che i due sistemi di riferimento, la Terra e l'astronave, NON sono equivalenti. Il gemello viaggiatore, infatti, non si trova in un sistema di riferimento inerziale per tutta la durata del viaggio - l'astronave è infatti soggetta a un'accelerazione in partenza e all'arrivo e, in misura ancora maggiore, quando inverte la rotta per tornare sulla Terra. Il gemello sulla Terra invece non risente delle forze associate ai cambiamenti di velocità e di direzione che sperimenta il gemello in viaggio. I due gemelli sono quindi distinguibili e le loro esperienze non sono simmetriche. Da ciò deriva che la teoria della relatività ristretta (che non contempla le accelerazioni) non possa essere applicata al gemello in viaggio. In ogni caso, se si suppone che i periodi di accelerazione costituiscano solo una piccola parte del viaggio complessivo, la teoria della relatività ristretta può essere applicata per dare almeno un'indicazione di cosa accade: la conclusione è che il gemello in viaggio tornerà più giovane di quello rimasto sulla Terra (tale risultato viene anche confermato dalla teoria della Relatività Generale che tiene invece conto delle accelerazioni). Durante il percorso di andata e ritorno a velocità costante, che costituisce la gran parte del viaggio, entrambi i gemelli misurano la stessa velocità relativa, ma la lunghezza propria è misurata dal gemello che si trova sulla Terra, in quanto egli è in quiete rispetto ai punti di partenza e di arrivo. Ciò implica, per la relatività ristretta, che il gemello viaggiatore misuri una distanza inferiore, a causa del fenomeno della contrazione delle lunghezze. Pertanto, pur viaggiando alla stessa velocità relativa l'uno rispetto all'altro, dal suo punto di vista il gemello viaggiatore impiega meno tempo a coprire una distanza minore e dunque può trovare coerente il fatto che tornerà a casa più giovane. Dal punto

di vista del gemello a Terra, il battito del gemello in viaggio è più lento, per cui è in accordo con il fatto che al rientro il fratello sia più giovane.

Nonostante l'apparente irrealizzabilità attuale dell'esperimento, il paradosso dei gemelli è stato verificato, grazie a degli orologi atomici collocati a bordo di due aerei che volavano in direzioni opposte rispetto al pianeta: l'aereo che viaggia in direzione est somma la sua velocità a quella di rotazione della Terra, dunque viaggia più velocemente di quello che viaggia in direzione ovest, e quindi deve segnare un tempo inferiore di alcune frazioni di secondo. E così in effetti è stato. Un'altra verifica sperimentale fu invece eseguita nel 1966 in un acceleratore di particelle al CERN a Ginevra: in questo caso i viaggiatori erano muoni, fatti correre per mezzo di campi magnetici lungo percorsi circolari con velocità pari al 99,6% della velocità della luce. Si trovò che al loro ritorno i muoni erano più giovani, perché erano decaduti più lentamente dei muoni in quiete nel laboratorio.

[per una rigorosa trattazione della soluzione di questo paradosso, vedere [35]]

Il paradosso del nonno

Questo è un grande classico dei paradossi temporali. Una persona inventa la macchina del Tempo, viaggia nel passato e più o meno volontariamente uccide suo nonno (o un proprio avo) o comunque gli impedisce di procreare. E dunque? Se il nonno muore prima di procreare vuol dire che lui non nascerà mai, ma se così fosse e lui fosse quindi "cancellato" dalla storia, non potrebbe nemmeno tornare indietro nel Tempo e uccidere l'antenato.

Esistono anche altre varianti di questo paradosso; tornando sufficientemente indietro nel calendario non sarebbe necessaria la brutalità dell'atto in esempio per impedire la nostra stessa esistenza: anche un piccolissimo cambiamento potrebbe produrre la non esistenza dell'intero genere umano, stravolgendo completamente la nostra linea temporale: è l'effetto farfalla, termine che ha origine da un racconto di Ray Bradbury. Il protagonista del racconto, tornato indietro nel tempo, schiaccia inavvertitamente una farfalla in tempi preistorici, causando catastrofici cambiamenti nel futuro [48]. Esso è scientificamente legato alla Teoria del Caos: per quanto due eventi tra loro alternativi si discostino di poco, la traiettoria futura è completamente diversa (si pensi ad esempio a due palle da biliardo che colpiscono in sequenza un lato del tavolo in due punti estremamente vicini tra loro: dopo pochi urti successivi con le altre sponde mostreranno traiettorie completamente diverse). Non è dunque possibile modificare anche il più apparentemente insignificante particolare del passato senza avere un effetto a valanga sul futuro (l'effetto farfalla, in meteorologia, afferma che un battito d'ali di farfalla in Brasile potrà causare un uragano negli Stati Uniti un mese dopo) [01].

Paradosso del Bootstrap

È l'anno 1997 e una giovane aspirante scrittrice inglese è in cerca di un'idea che le permetta di realizzare il suo sogno. Un giorno, mentre sta viaggiando in treno, vede una signora molto anziana

avvicinarsi e sederlesi accanto e prova una strana sensazione di déjà vu. Lei la guarda e sorridendo le porge un corposo manoscritto, chiedendole di pubblicarlo a suo nome senza dirlo a nessuno e di conservarlo sempre con cura, poi si alza e se ne va. Non la incontrerà mai più. Lei pubblica il romanzo e diviene incredibilmente ricca e famosa; passano gli anni, i decenni e un giorno, quando nel 2060 viene inventata la macchina del Tempo, lei capisce che deve tornare nel passato e dare a se stessa il manoscritto [49].

Questo è un esempio di bootstrap paradox. Il termine bootstrap ha origine dal racconto sci-fi “By his bootstraps” di Robert A. Heinlein [29] e indica una situazione in cui un oggetto, come un gadget tecnologico o una qualche informazione, come ad esempio un romanzo o una teoria scientifica, risulta chiuso in un loop temporale in cui non ha un punto di origine nel Tempo. Il ragionamento ha senso quanto cercare di sollevarsi allacciandosi le scarpe.

Qui non solo non si riesce a capire se venga prima la causa o l’effetto, ma nemmeno si riesce a distinguerli; la storia del romanzo sembra essere dotata di vita propria, nel senso che esiste indipendentemente da un ideatore, sembra fare già parte dell’Universo.

La materia di cui è fatto il manoscritto (la cellulosa, l’inchiostro, ecc.), in una visione lineare del Tempo, sembra emergere dal nulla non avendo alcuna origine. Ma c’è di più: l’anziana scrittrice dice alla se stessa più giovane di conservare con cura il manoscritto, ma in realtà non ve ne sarebbe alcun bisogno. Ogni oggetto per quanto resistente e duraturo è soggetto a deterioramento, lo si può conservare al meglio, restaurarlo, ma qualsiasi foglio di carta un giorno sarà solo polvere. Ma se il manoscritto non ha un punto di origine nel Tempo, a partire da quando inizia il suo deterioramento? La risposta apparentemente è mai, ma questo è in aperta violazione del secondo principio della termodinamica ...

Tempo circolare (CTC, Closed timelike curves)

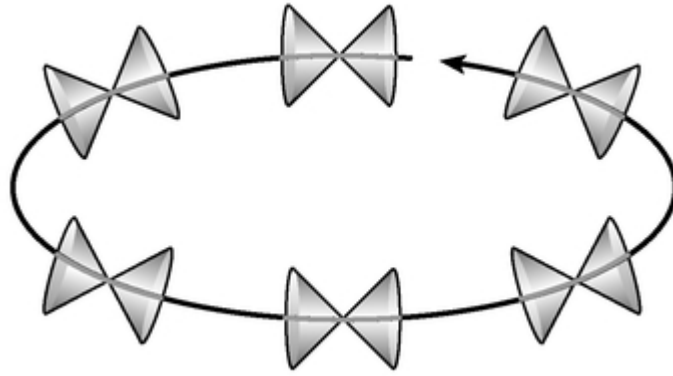
In alcuni casi il tempo torna ciclicamente a ripetersi (non propriamente uguale a se stesso, altrimenti come potremmo esserne consapevoli?). In alcune versioni della Teoria delle Stringhe esistono altre dimensioni spaziali nascoste, rispetto alle tre dimensioni spaziali e a quella temporale a cui siamo abituati, che danno luogo a “brane” tridimensionali che fluttuano in uno spazio multidimensionale e dove in ciascuna di esse esiste un determinato universo.

Il nostro Universo sarebbe in realtà una Brana che oscilla accanto a un’altra Brana ad esso vicinissima ma in una dimensione diversa dalle nostre usuali tre.

Come due elastici, le due Brane si allontanano per poi riavvicinarsi e scontrarsi: a ogni scontro, la loro struttura si annichila – no, non è una bella notizia per noi – e la storia ricomincia: allontanamento, riavvicinamento, fine, nuovo inizio, in un ciclo infinito: il Big Bang non sarebbe che la traccia dell’ultimo Inizio. Si noti che, in tal caso, il Multiverso è potenzialmente infinitamente esteso nel Tempo.

[per approfondire: [36],[37]]

A un livello più locale, la Relatività generale prevede la possibilità di cerchi chiusi nel tempo:



“... immaginiamo di avere uno spazio-tempo in cui i coni luce si inclinano formando un cerchio (...). Chiaramente questo richiederebbe un campo gravitazionale enorme, ma lasciamo campo libero all’immaginazione. Se lo spazio fosse incurvato in questo modo, potremmo muoverci su una traiettoria tipo tempo, viaggiando sempre verso il nostro cono luce futuro, e finire tuttavia con l’incontrare noi stessi in un istante del nostro passato.” [06]

In versione narrativa, e scala un po’ più umana, uno schema di tipo ciclico appare nel film “Ricomincio da capo” [53]:

Phil, un detestabile meteorologo televisivo, deve recarsi nella piccola città di Punxsutawney, in Pennsylvania, per fare un reportage sulla tradizionale ricorrenza del Giorno della marmotta. Qui però rimane intrappolato in un circolo temporale: ogni mattina, alle 06.00 in punto, viene svegliato dalla radio che trasmette sempre lo stesso brano musicale (“I Got You Babe” di Sonny & Cher), e da allora la giornata trascorre inesorabilmente allo stesso modo della precedente. Gli eventi si ripetono esattamente uguali ogni giorno, e lui ben presto impara a sfruttarli per passare una giornata stravagante, spendere soldi, conquistare donne. Ma ogni tentativo di sedurre la bella collega Rita fallisce invariabilmente. A rompere il loop il consiglio di dedicare questa vita intrappolata ad aiutare il prossimo: Phil capisce così che non può in un singolo giorno aiutare tutti, ma può migliorare se stesso. Scopre così i suoi talenti e capisce i bisogni altrui, il che lo rende un uomo apprezzato e amato, insomma, un uomo migliore.

Alla fine tutto ciò lo porta ad uscire dall'incantesimo, iniziando una nuova (imprevedibile) vita con Rita.

Date a Phil il volto stralunato di Bill Murray e immaginate per Rita il luminoso sorriso di una Andy MacDowell al suo meglio, e il gioco è fatto. In realtà, qui la ripetizione giornaliera viene alterata, giorno dopo giorno, in una evoluzione “a elica”, che porta alla fine il protagonista ad uscire dal percorso, conseguendo una sorta di Satori, di “illuminazione” che rompe il ciclo.

Assai più rigida e immutabile, nella novella di Nastagio degli Onesti dal Decameron [24] e nel ciclo pittorico trattone da Botticelli, la ripetizione della morte della fanciulla, uccisa e poi sbranata dai cani, a ripagare le sue colpe verso il cavaliere, morto suicida per il di lei rifiuto ad amarlo.

Sono state proposte varie spiegazioni ai paradossi temporali, anche da illustri fisici. Intanto partiamo da quella che ci appare come la più semplice e ovvia: il viaggio temporale verso il passato è vietato dalle leggi della fisica.

È un forte sostenitore di questa ipotesi, detta anche Chronology Protection Conjecture, anche Stephen Hawking, secondo il quale tra l'altro nel nostro Universo le diverse frecce del Tempo avrebbero potuto puntare in direzioni differenti o anche non essere ben definite, ma in tal caso non vi sarebbero state le condizioni necessarie allo sviluppo della vita intelligente (quindi una sorta di principio antropico debole); tuttavia anche Hawking riconosce che sulla base delle leggi fisiche note non è possibile escludere l'ipotesi dei viaggi temporali.

Non importa quanto il viaggiatore provi a modificare il proprio passato: ogni suo tentativo è sempre vano. Questo è in sostanza il principio di autoconsistenza (detto anche legge di conservazione della storia), formulato dal fisico russo I.D. Novikov proprio per risolvere il problema dei paradossi temporali. Secondo tale principio, se un evento ha la possibilità di causare un paradosso o un cambiamento qualsiasi nel passato, allora le probabilità di tale evento sono nulle.

Se così non fosse, l'Universo non sarebbe così come noi lo conosciamo. Come si nota, tale principio non si basa che sulla nostra convinzione che i paradossi temporali sono impossibili, altrimenti ce ne accorgeremmo ...

Altra spiegazione molto accreditata è invece quella che chiama in causa l'esistenza di un Multiverso. Il nostro non sarebbe altro che uno di infiniti universi esistenti, nel quale si realizzano tutte le infinite possibilità. In questa prospettiva i viaggi nel Tempo verso il passato sarebbero in realtà "balzi" verso altri universi, altre realtà, nelle quali potremmo provocare qualsivoglia cambiamento (in accordo con le leggi della fisica). Certo questo implicherebbe anche l'ipotesi, abbastanza inquietante, che altre persone da altri universi possano interferire con la nostra realtà ... altra spiegazione che deriva da questa è che sia proprio il viaggio nel Tempo a creare un nuovo universo, una nuova linea temporale indipendente dalla nostra a partire dall'arrivo nel nostro passato (proprio come accade nel film "Ritorno al futuro"[54]).

"A differenza di Newton e di Schopenhauer, il suo antenato non credeva in un tempo uniforme, assoluto. Credeva in infinite serie di tempo, in una rete crescente e vertiginosa di tempi divergenti, convergenti e paralleli. Questa trama di tempi che si biforcano, si tagliano o si ignorano per secoli, comprende *tutte* le possibilità. Nella maggior parte di questi tempi noi non esistiamo, ..." [25]

La linea temporale procederebbe quindi ramificandosi in modo simile all'evoluzione delle specie.

In realtà, più scientificamente, quella dei mondi che si biforcano ("dei molti mondi") è una serissima interpretazione alternativa a quella probabilistica e canonica - detta "di Copenhagen" e sostenuta da Niels Bohr - della funzione d'onda nella Meccanica Quantistica; re-interpretazione oggi molto quotata tra i fisici, e di indiscutibile fascino per le prospettive filosofiche che essa apre.

Probabilmente non sarà possibile escludere o confermare la possibilità delle CTC almeno fino alla formulazione di una teoria Quantistica della Gravità, detta anche Teoria del Tutto, che concili la meccanica quantistica con la relatività generale e unifichi le 4 forze fondamentali.

C'è una massima molto utile che piace ricordare a molti scienziati e che può essere sintetizzata in:

“Tutto ciò che può accadere, accade”

Tutto ciò che non è espressamente vietato dalle leggi della fisica ed è quindi permesso, invariabilmente si verifica (da qualche parte).

Fino a quando non si scopriranno una o più leggi fisiche che lo vietino, è dunque più che legittimo interrogarsi, seriamente e non, sul viaggio a ritroso nel tempo e sulle sue conseguenze.

Conclusioni (provvisorie)

Leggiamo questi tre frammenti:

"Che cosa vi succede?" domandò [Alice] non appena si poté far sentire. "Vi siete punta le dita?".

"Non me le sono punte ancora" disse la Regina. "Ma me le pungerò. Ahi! Ahi! Ahi!".

"E quando credete che ciò avverrà?" chiese Alice con una voglia matta di mettersi a ridere.

"Quando mi riappunterò di nuovo lo scialle" brontolò la povera regina. "Il fermaglio si aprirà di colpo! Ahi! Ahi! Ahi!". Mentre gridava così il fermaglio si aprì e la Regina lo afferrò con violenza cercando di riappuntarlo.

"State attenta," gridò Alice "lo state afferrando tutto all'incontrario!". E volle prenderlo lei, ma era troppo tardi; lo spillo sfuggì e punse il dito della Regina."

"... allorché si scoprì che il composto tiotimolina si dissolve nell'acqua in proporzione di 1 g/ml in meno 1,12 secondi (-1,12). Cioè si scioglie prima che sia aggiunta l'acqua. (...) Il fatto che il composto si sciogliesse prima dell'aggiunta di acqua induceva a togliere l'acqua dopo la soluzione e prima dell'aggiunta. Questo, grazie alla legge di conservazione della massa-energia, non riuscì mai, dacché la soluzione non ebbe mai luogo finché non fu aggiunta acqua. Si pone immediatamente il problema di come la tiotimolina possa "sapere" in anticipo se l'acqua verrà aggiunta o meno. Sebbene questo problema non sia di nostra stretta pertinenza, essendo noi chimici-fisici, nel corso dell'ultimo anno è stato pubblicato molto materiale relativo ai problemi psicologici e filosofici ivi implicati."

"Libet dimostrò già negli anni Sessanta del secolo scorso, con esperimenti poi più volte confermati con tecnologie più sofisticate di quelle che lui aveva a disposizione, che meccanismi nervosi precedono la coscienza, la quale viene informata *ex post*, in parallelo di ogni azione, stato d'animo e riflessione apparentemente volontari. Non si fa quello che si vuole, quindi, ma si vuole quello che il cervello ha scelto di fare. La volontà libera di scegliere sarebbe un'illusione."

Ciascuno dei tre produce un effetto di lacerazione della nostra fede (molto solida, per chi pratica la scienza) nel principio di causa-effetto: la prima deve *precedere* il secondo. Ora, per Alice (fanciulla vittoriana dislocata in un ambiente quasi del tutto incongruo, ove al persistere della nostra realtà sono quasi esclusivamente le leggi del ben comportarsi, ma in genere non quelle della fisica), questa non è che l'ennesima bizzarria. [26]

Nella seconda traccia, un delizioso racconto del 1948 del biochimico Asimov, al contrario, tutto ha le apparenze del mondo che conosciamo - salvo il fatto che descrive dati del tutto inventati, naturalmente, prevedendo una sostanza che reagisce *prima* di entrare in contatto con il reagente ... : a dargli una patina di credibilità ancora maggiore è la veste di paper scientifico che presenta la storia con tutti i crismi della credibilità, ed è correlato di corposa quanto immaginaria bibliografia (a quanto l'Autore riferisce, proprio questo stile portò nelle settimane successive alla pubblicazione molti lettori a cercare nelle biblioteche prove dell'esistenza di una sostanza dalle proprietà così sorprendenti). [22]

Per inciso, una lucida lettura delle possibili conseguenze sul futuro di un invio di segnali verso il passato, e una brillante soluzione delle stesse, è contenuta in un altro racconto della stessa antologia citata in bibliografia, "La corsa della regina Rossa", [23].

Il terzo testo, del neuroscienziato Benini (tra gli Ospiti del nostro ciclo di conferenze), pone la coscienza di compiere un atto *dopo* la decisione da noi presa di eseguirlo ([05]; *si legga a questo proposito anche Gazzaniga, [12]*). *Chi* dunque ha deciso? *Noi* (noi chi) ? Questo dei tre è l'unico testo ad appoggiarsi su reali evidenze scientifiche, e ci richiama dunque, in nome della coerenza causa – effetto, a sottoporre a una severa critica alcune ben radicate convinzioni su noi stessi e il nostro libero arbitrio: a meno che, naturalmente, non siate disposti ad ammettere un bel paradosso temporale ... ma questa sarebbe un'altra storia; che non narreremo qui, perché, come ci ricorda Virgilio,

"fugit irreparabile tempus"

Appendice 1: Paradossi

Poiché in questo breve testo incontreremo numerosi paradossi – o, a essere più onesti, li andremo esplicitamente cercando - è forse utile rammentare il significato di tale parola.

“Un paradosso, dal greco παρά (contro) e δόξα (opinione), è, genericamente, la descrizione di un fatto che contraddice l'opinione comune o l'esperienza quotidiana, riuscendo perciò sorprendente, straordinaria o bizzarra; più precisamente, in senso logico-linguistico, indica sia un ragionamento che appare invalido, ma che deve essere accettato, sia un ragionamento che appare corretto, ma che porta a una contraddizione.”

[dalla definizione di paradosso in Wikipedia]

Questa definizione ci lascia liberi di considerare paradossi tanto fatti reali ma contrari all'opinione, quanto altri che sembrerebbero supportati dalla logica, ma portano a intime contraddizioni con la realtà. La collezione di paradossi del Tempo (o, come sarebbe più corretto definirli, dello Spaziotempo), in entrambe le accezioni, è vasta e particolarmente stimolante.

Appendice 2: Tempo di Planck

In Fisica è l'unità naturale del tempo. È considerato il più breve intervallo di tempo misurabile.

$$t_p \approx 5,391 \times 10^{-44} \text{ s}$$

Il tempo di Planck è il tempo che impiega un fotone (che viaggia alla velocità della luce) per percorrere una distanza pari alla lunghezza di Planck ($l_p \approx 1,6 \times 10^{-35} \text{ m}$).

È il "quanto del tempo", la più piccola misurazione del tempo che abbia qualche significato secondo la scienza attuale. Questo limite è associato al Principio di Indeterminazione di Heisenberg.

Appendice 3: La misura del Tempo

Il problema di spiegare che cosa sia il T. in Fisica classica viene trasformato molto pragmaticamente nel problema di fornirne una “definizione operativa”: non ti dico cos'è, ma ti insegno a misurarlo: il Tempo, in buona sostanza, è la grandezza che si misura con un orologio.

Almeno in apparenza, questa soluzione risolve alla radice la questione, eliminando qualsiasi presupposto teorico sul concetto di Tempo; naturalmente, si tratta di definire quali debbano essere le caratteristiche di un (buon) orologio.

“ma cosa significa che un orologio è affidabile? Il criterio principale è che abbia un comportamento costante. (...) [Ma] rispetto a cosa? Agli altri orologi. È un fatto empirico (e non una necessità logica) che nell'universo esistono oggetti coerentemente periodici – fanno sempre la stessa cosa, e se li confrontiamo troviamo che si ripetono con modalità prevedibili.

... La chiave per misurare il tempo è la ripetizione sincronizzata ... Quando diciamo che qualcosa è un buon orologio, dunque, intendiamo dire che si ripete in maniera prevedibile rispetto agli altri orologi.” [Il corsivo è nostro]

La terra ruota intorno al suo asse, e lo farà 365,25 volte per ogni giro intorno al Sole. Il minuscolo cristallo di un orologio al quarzo vibra 2 831 155 200 volte a ogni rotazione completa della Terra intorno al suo asse (sono 32 768 vibrazioni al secondo [...]). Il motivo per cui gli orologi al quarzo sono buoni orologi è che il quarzo cristallino ha vibrazioni estremamente regolari: anche variando la pressione e la temperatura esterne, un cristallo di quarzo vibra sempre lo stesso numero di volte rispetto alla rotazione terrestre. [06]

Per limitarci al periodo moderno, sappiamo che nei primi esperimenti con il piano inclinato Galileo non fa alcun riferimento a misurazioni temporali, quindi probabilmente all'epoca del *De motu antiquiora* (circa 1590) non utilizzava ancora nessuno strumento particolare per tale scopo. [20] Uno dei modi in cui può aver scandito il tempo è tramite la musica: Galileo molto probabilmente divideva il tempo in 8 intervalli uguali cantando un'aria che aveva battute della durata di circa 0.55 secondi l'una.

Con il progredire degli esperimenti sui piani inclinati Galileo si rese conto di aver bisogno di un meccanismo per misurare piccoli intervalli di tempo. Gli studi sul moto del pendolo lo indussero all'inizio a tentare di utilizzare le oscillazioni; non essendo però agevole per i suoi scopi, Galileo utilizzò il pendolo per calibrare l'orologio ad acqua, mise cioè a confronto i due strumenti per essere certo che il flusso d'acqua durante una misurazione fosse costante. [09][20] Nei “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze” (1638) dà una descrizione del cronometro ad acqua.

Oggi, la più moderna tecnologia di orologi atomici ha consentito di portare la precisione delle nostre misure a qualche parte su 10^{18} , circa un miliardesimo di secondo all'anno. Il risultato è stato ottenuto sfruttando l'ultima frontiera della tecnologia nel campo della misurazione del tempo, quella dei reticoli ottici, costituiti da griglie di fasci laser al cui interno sono intrappolati atomi di diverso tipo, che hanno la funzione di base del tempo.

(Godone. A. – Inguscio, M., in [02] – disponibile anche online [31])

Uno studio 2015 effettuato nel Laboratorio di metrologia quantistica del giapponese RIKEN ha dimostrato di poter sincronizzare due orologi entro un errore di 2 parti su un miliardo di miliardi. Questo significa che potrebbero sfasarsi di un secondo ogni 16 miliardi di anni. Si tratta di un miglioramento di circa 1000 volte nella precisione della misurazione del tempo rispetto agli attuali standard internazionali, basati su orologi atomici al cesio, utilizzando invece un reticolo di atomi di stronzio. [38]

Naturalmente questo implica che se in tutto l'universo il tempo rallentasse o accelerasse, noi non avremmo modo di accorgercene, perché gli orologi resterebbero sincronizzati tra loro: il tempo è

ciò che gli orologi misurano. Ma se un gruppo di orologi cambiasse il proprio ritmo rispetto agli altri, potremmo parlare di cambiamento del tempo per quegli orologi? E, a questo punto, quali sarebbero gli orologi “corretti” ? Il punto è che non possiamo definire una coordinata temporale assoluta e universale [ved. Appendice 5 sulle Relatività].

Appendice 4: il II Principio della termodinamica

“Se qualcuno vi fa notare che la vostra teoria preferita dell’universo non va d’accordo con le equazioni di Maxwell [le leggi dell’elettromagnetismo], tanto peggio per le equazioni di Maxwell. Se la si trova contraddetta dall’osservazione ... ebbene, qualche volta gli sperimentatori fanno certe confusioni! Ma se si scopre che la vostra teoria è contraria al secondo principio della termodinamica, non posso darvi speranza alcuna: alla vostra teoria non resta che sprofondare nella massima umiliazione!”

Sir Arthur Eddington, astronomo

“Molte volte mi sono trovato presente a riunioni di persone reputate di elevata cultura, secondo i criteri della cultura tradizionale, che si sono precipitate a dichiarare di non poter credere che gli scienziati fossero così privi di cultura letteraria. Un paio di volte mi sono irritato e ho chiesto alla compagnia quanti di loro se la sentivano di spiegare che cos’è la seconda legge della termodinamica. La risposta era fredda: ed era altresì negativa. Eppure chiedevo qualche cosa che è press’a poco l’equivalente scientifico di ‘Avete mai letto un’opera di Shakespeare?’ ”

C.P. Snow

(entrambe le citazioni sono riportate in Carroll, [06])

Riporteremo due formulazioni equivalenti e molto vicine alla nostra esperienza di questo principio: quella di Kelvin (“È impossibile costruire una macchina ciclica il cui unico effetto sia convertire calore in lavoro”) e quella di Clausius (“È impossibile costruire una macchina ciclica il cui unico effetto sia trasferire calore da una sorgente più fredda a una più calda”).

Quello che si afferma in pratica è che calore e lavoro – entrambe forme di energia - non sono però del tutto equivalenti: in qualche modo, il calore è una energia di qualità inferiore, per così dire degradata, in quanto “disordinata”: e qui viene il punto fondamentale del Principio: la tendenza, in qualsiasi processo è di mantenere (processi reversibili, in realtà assai rari) o aumentare (processi irreversibili) la quantità totale di disordine presente: tale quantità viene misurata con un parametro di estrema utilità chiamato Entropia.

L’entropia – il disordine - tende dunque a crescere, mai a calare: anche laddove osserviamo un locale calo del disordine (e la vita si basa tutta su processi di creazione di ordine) questo avviene a spese dell’ambiente circostante: possiamo stare sicuri che, in ogni caso, il bilancio finale non è a somma zero: l’entropia aumenta.

Ma qui si deve fare un'osservazione molto importante: questa legge (della quale non si conoscono eccezioni, e che, dopo una nascita molto difficile, è ormai considerata una pietra miliare della Fisica – e non solo) è basata su fondamenti esclusivamente statistici. La Natura (o chi per Lei) non predilige il disordine: esso è favorito esclusivamente dal fatto di essere più probabile (estremamente più probabile) dell'ordine, a causa del fatto che, come qualsiasi genitore che esamini la camera dei figli sa perfettamente, ci sono molti più modi di mettere le cose in disordine che in ordine: e i ragazzi li stanno diligentemente sperimentando uno dopo l'altro ...). Le probabilità sono schiaccianti, e le cose vanno come il II Principio prevede, senza eccezioni: è però estremamente importante, sotto il profilo concettuale, capire che solo di fatto statistico si tratta: nessuna legge fisica produce in realtà questo risultato. Come disse Lord Kelvin: "Non è impossibile pensare di mettere una pentola sul fuoco e vederla *ghiacciare*": non è impossibile, ma non accade.

Appendice 5: Le due Relatività

Esistono centinaia di buoni testi, anche divulgativi, sui principi di base della Relatività (la Ristretta [RR] del 1905 e la Generale [RG] del 1915); qui presenteremo, per cenni e con notevoli semplificazioni, solo i principi strettamente necessari alla comprensione del testo principale.

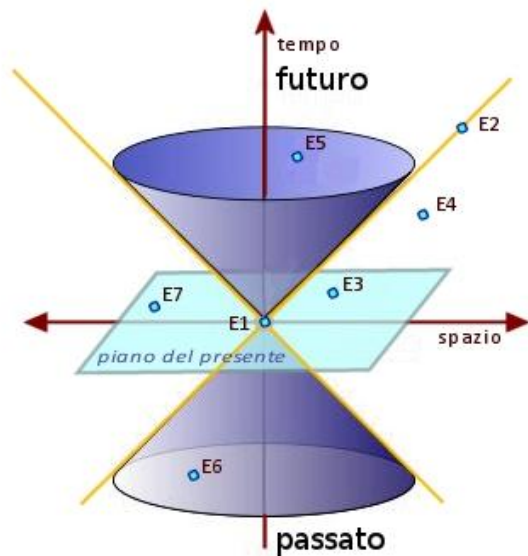
La RR si occupa di invarianze tra sistemi di riferimento inerziali (ovvero che viaggiano gli uni rispetto agli altri a velocità costante). In particolare, consente di descrivere corpi che viaggiano a velocità prossime a C .

La RG descrive gli effetti della gravitazione sullo spaziotempo, che viene considerato come un unico sistema di riferimento 4-dimensionale anziché, come in precedenza, un insieme di 3 coordinate spaziali più una temporale indipendente.

La velocità della luce (C) è una quantità costante, pari a circa 300 000 km/s, in *qualsunque sistema di riferimento*: essa non si compone con altre velocità, e non può essere superata da alcun oggetto: quelli privi di massa, come i fotoni, si muovono costantemente a tale velocità; gli altri non possono raggiungerla e si muovono più lentamente [N.B. la teoria non impedisce però che esistano oggetti che mantengano una velocità superiore a C : essi vengono chiamati Tachioni, ma non esistono prove sperimentali dell'esistenza di tali corpi].

La costanza di C nei vari sistemi di riferimento porta a effetti di *dilatazione dei tempi* e *contrazione delle lunghezze* per oggetti in movimento rispetto all'osservatore: tali effetti risultano in realtà rilevanti solo qualora la velocità dell'oggetto si avvicini a C , e sono invece impercettibili negli altri casi - come nella nostra vita quotidiana, ove tutto ha velocità trascurabile rispetto a quella della luce: qui dunque orologi e metri danno risultati uguali per ogni osservatore.

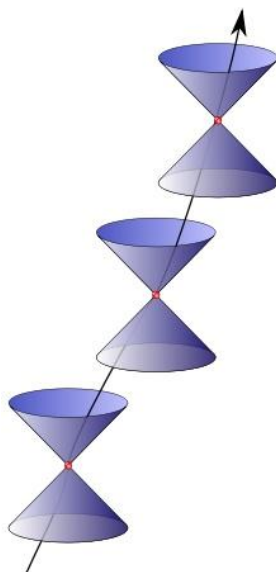
Si noti che l'effetto descritto è reciproco: se A si muove rispetto a B , anche B fa altrettanto nei confronti di A : a ciascuno sembrerebbe che tempi e lunghezze subissero, per l'altro, le deformazioni descritte.



Un'altra conseguenza dell'invarianza di C è il cosiddetto cono del tempo (si noti che qui, a differenza della retta "ingenua" da noi tracciata all'inizio del testo, il tempo è rappresentato sull'asse verticale):

Solo quanto si trova nel cono del futuro può essere influenzato dall'evento $E1$, e solo quanto è nel cono del passato può influenzarlo. $E5$, che si trova all'interno del cono di $E1$, viene definito un evento di "tipo tempo"; gli eventi $E3$, $E4$, $E7$ non sono causalmente correlati con $E1$: non possono influenzarlo, né esserne influenzati, e vengono definiti di "tipo spazio".

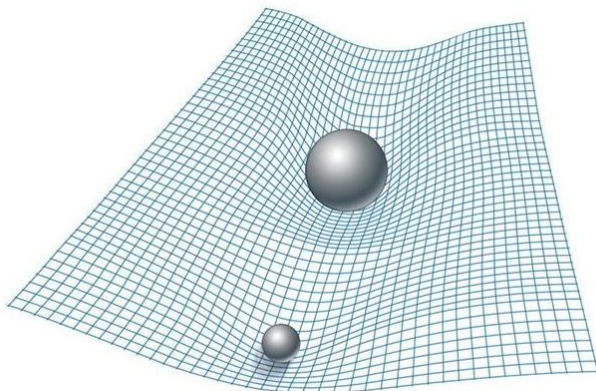
$E2$ è al bordo del cono del futuro, e può essere raggiunta solo da un segnale elettromagnetico (un raggio di luce, che viaggia alla velocità C): è un evento di "tipo luce".



In figura a sinistra, la linea di universo percorsa da un corpo nello spaziotempo.

Il corpo non può in nessun istante viaggiare più veloce della luce: la tangente al cono temporale in ogni punto rappresenta il limite ai possibili "futuri" dell'evento al vertice di tale cono.

La RR non si occupa di Gravità, ma essenzialmente solo di campi elettromagnetici. A colmare la lacuna, dieci anni dopo, Einstein introdurrà la RG, frutto quasi esclusivamente del suo genio, e che si occupa principalmente di questa "forza": scoprendo che, non di una forza come le altre si tratta, ma della forma stessa dello spaziotempo.



Gli oggetti curvano lo spaziotempo intorno a sé, in modo tanto più rilevante quanto più essi sono massicci. Qualunque corpo si trovi in prossimità di tali curve spaziotemporali sarà influenzato da tale deformazione della struttura stessa dell'Universo, e si muoverà di conseguenza, così come il suo orologio ne verrà influenzato, rallentando.

Le masse dicono allo spazio come curvarsi, lo spazio dice alle masse come muoversi.

Per saperne di più , si vedano, tra gli altri [04], [10], [11], [39], [40], [41].

Per approfondire anche a livello matematico, [42], [43], [44].

Appendice 6: Teoria delle Stringhe

Nel tentativo di trovare un accordo tra Relatività e Meccanica Quantistica, questa teoria prevede che ogni particella elementare (elettroni, quark, neutrini, ...) sia costituita di un filamento simile a una corda (dall' inglese *string*: corda), di dimensioni dell'ordine della lunghezza di Planck. Ognuna di queste corde vibra in modo diverso e in base al "tono di vibrazione" i filamenti producono tutte le particelle che compongono il nostro Universo: materia, energia, spazio e tempo esistono grazie alla vibrazione di queste corde, in un universo composto da almeno 10 dimensioni spaziali e una temporale.

Per noi è impossibile vedere o cogliere le dimensioni spaziali oltre la terza perché sono raggomitolate fra loro nella scala dell'infinitamente piccolo.

Va detto esplicitamente che, allo stato attuale, non esiste alcuna prova sperimentale che suffraghi tale teoria: e non sono pochi gli studiosi che ne mettono seriamente in discussione la stessa scientificità.

Confessiamolo però: è una teoria troppo bella per non citarla neppure ...

(per approfondire, [13], [14], [45], [46], [47])

Bibliografia scientifica

- [01] AA.VV., *Il caos. Le leggi del disordine*, volume de Le Scienze, Milano, 1991
- [02] AA.VV., *Tempo, Asimmetrie* (rivista a cura dell'INFN), n. 17, 2014
- [03] Barbour, J., *La fine del tempo*, Einaudi, Torino, 2000
- [04] Barone, V., *Relatività. Principi e applicazioni*, Bollati Boringhieri, Torino, 2004
- [05] Benini, A., *Neurobiologia del tempo*, Raffaello Cortina, Milano, 2017
- [06] Carroll, S., *Dall'eternità a qui*, Adelphi, Milano, 2012
- [07] Davies, P., *Gli ultimi tre minuti*, Rizzoli, Milano, 1994
- [08] Davies, P., *I misteri del tempo*, Mondadori, Milano 1998
- [09] Drake, S., *Galileo Galilei pioniere della scienza*, Muzzio, Padova, 1992
- [10] Einstein, A., *Relatività. Esposizione divulgativa*, Bollati Boringhieri, Torino, 2015
- [11] Ferreira, P.G., *La teoria perfetta: La relatività generale: un'avventura lunga un secolo*, Rizzoli, Milano, 2014
- [12] Gazzaniga, M., *Chi comanda?*, Scienze, Milano, 2013
- [13] Greene, B., *L'universo elegante*, Einaudi, Torino, 2000
- [14] Greene, B., *La trama del cosmo*, Einaudi, Torino, 2004
- [15] Greene, B., *La realtà nascosta*, Einaudi, Torino, 2012
- [16] Hawking, S.W., *Dal Big Bang ai buchi neri*, Rizzoli, Milano, 1988
- [17] Hawking, S.W. – Penrose, R., *La natura dello spazio e del tempo*, Rizzoli, Milano, 1996
- [18] Imprey, C., *La fine di tutto*, Le Scienze, Roma, 2010
- [19] Randall, L., *Passaggi curvi*, Il Saggiatore, Milano, 2006
- [20] Settle, T.B., *Galileo e la scienza sperimentale*, Dipartimento di Fisica Galileo Galilei, 1995, Padova

Bibliografia umanistica

- [21] Amis, M., *La freccia del tempo*, Einaudi, Torino, 2010
- [22] Asimov, I., *Proprietà endocroniche della Tiotimolina risublimataq*, in *Asimov story n.4*, Mondadori, Milano, 1973
- [23] Asimov, I., *La corsa della regina Rossa*, in *Asimov story n.4*, Mondadori, Milano, 1973
- [24] Boccaccio, G., *Decameron*, Einaudi, Torino, 2014
- [25] Borges, J.L., *Il giardino dei sentieri che si biforcano*, in *Finzioni*, Einaudi, Torino, 1955
- [26] Carroll, L., *Alice attraverso lo specchio*, Garzanti, Milano, 2016
- [27] Enzensberger, H.M., *Zig zag - saggi sul tempo, il potere e lo stile*, Einaudi, Torino, 1999
- [28] Fitzgerald, F.S., *Il curioso caso di Benjamin Button*, Feltrinelli, Milano, 2013
- [29] Heinlein, R.A., *Per qualche millennio in più*, in *Oltre il tempo (antologia)*, Robot, Speciale 4, supplemento al n. 18, Armenia Editore, Milano, 1977
- [30] Hobsbawm, E., *L'invenzione della tradizione*, Einaudi, Torino, 1987

Sitografia

- [31] www.asimmetrie.it
- [32] http://www.etesta.it/materiali/2012_2013_Hobsbawm_InvenzioneTradizione.pdf
- [33] <http://www.ilsole24ore.com/fc?cmd=art&artId=590423&chId=30>
- [34] <http://www.arkeomania.com/colorisculturagreca.html>
- [35] <https://mathesisroma.files.wordpress.com/2016/03/paradosso-dei-gemelli.pdf>
- [36] <http://www.passioneastronomia.it/stringhe-brane-gravitoni-e-multiversi/>

- [37] <https://www.youtube.com/watch?v=1iJoFlwMKiI>
- [38] www.lescienze.it/news/2015/02/11/news/orologio_ultrapreciso_reticolo_ottico_stronzio-2479928/
- [39] https://it.wikipedia.org/wiki/Teoria_della_relativit%C3%A0
- [40] <https://www.wired.it/scienza/energia/2015/11/25/secolo-relativita-teoria-einstein/>
- [41] <http://www.andreaminini.org/fisica/teoria-della-relativita/>
- [42] <http://www.mat.unimi.it/users/carati/didattica/dispense/relativita.pdf>
- [43] <http://www.cpap.altervista.org/documenti/relativita%20ristretta.pdf>
- [44] <http://alpha.science.unitn.it/~colletti/download/relativita.pdf>
- [45] <http://matematica.unibocconi.it/articoli/teoria-delle-stringhe-da-newton-einstein-e-oltre>
- [46] <http://www.manuelmarangoni.it/onemind/4840/la-teoria-delle-stringhe-in-parole-semplici-e-le-11-dimensioni-video-di-brian-greene>
- [47] <https://youtu.be/iCwsh9fJkxE>
- [48] <http://www.chiaramicheli.it/rumore-di-tuono-racconto-fantascientifico-di-ray-bradbury-1952/>
- [49] <http://leganerd.com/2015/03/31/paradossi-temporali/>

Film citati

- [50] *Il curioso caso di Benjamin Button*, 2008, regia di D. Fincher
- [51] *Contact*, 1997, regia di R. Zemeckis
- [52] *Interstellar*, 2014, regia di C. Nolan
- [53] *Ricomincio da capo (Groundhog day)*, 1993, regia di H. Ramis
- [54] *Ritorno al futuro*, 1985, regia di R. Zemeckis

GLI OSPITI DEL CICLO AUTUNNO 2017 DE "LA VIA DELLE SCIENZE"

EUGENIO COCCIA
FISICO

Venerdì 6 ottobre 2017

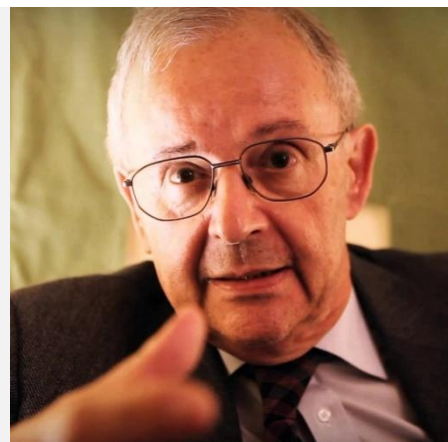
Il mistero del tempo



ARNALDO BENINI
NEUROSCIENZIATO

Mercoledì 18 ottobre 2017

Neurobiologia del tempo



GIULIO GIORELLO
FILOSOFO DELLA SCIENZA

Giovedì 26 ottobre 2017

Tempo e verità



gli SCAVALCAMONTAGNE
COMPAGNIA TEATRALE

Martedì 7 novembre 2017

Contrattempo



gli incontri de
**La Via delle
SCIENZE**

avvengono con il patrocinio del



Ringraziamo i nostri Partners, senza il cui amichevole sostegno questa iniziativa sarebbe impossibile

Main sponsor:



Partners:



www.laviadellescienze.altervista.org

laviadellescienze@itismarzotto.it

