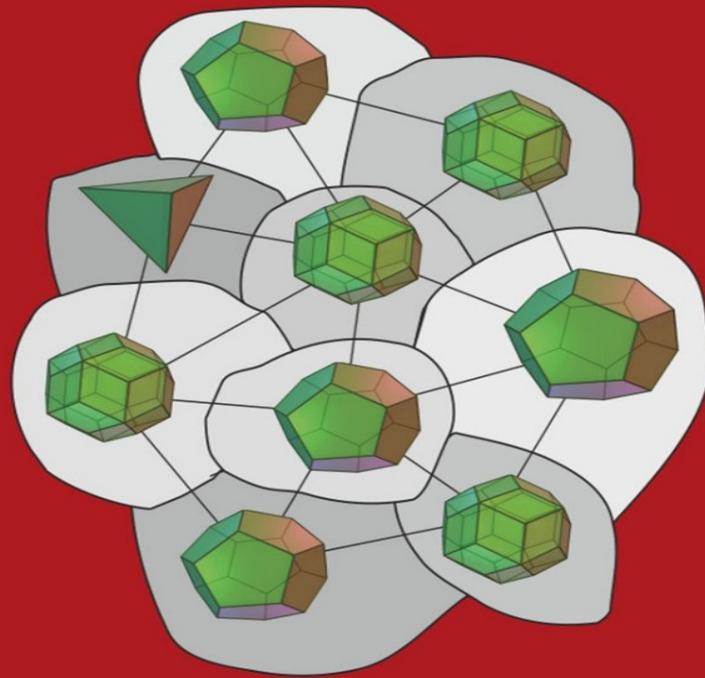


Adelphi eBook

CARLO ROVELLI

L'ordine del tempo



ADELPHI

Carlo Rovelli

L'ordine del tempo



Adelphi eBook

Quest'opera è protetta
dalla legge sul diritto d'autore
È vietata ogni duplicazione,
anche parziale, non autorizzata

Prima edizione digitale 2017

© 2017 ADELPHI EDIZIONI S.P.A. MILANO
www.adelphi.it

ISBN 978-88-459-7907-1

a Ernesto, e Edoardo

L'ORDINE DEL TEMPO

I versi che aprono i capitoli sono tratti dalle *Odi* di Orazio, nella traduzione di Giulio Galetto pubblicata dalle Edizioni del Paniere in un incantevole minuscolo volumetto intitolato *In questo breve cerchio* (Verona, 1980).

FORSE IL MISTERO PIÙ GRANDE È IL TEMPO

Anche le parole che ora
diciamo
il tempo nella sua rapina
ha già portato via
e nulla torna (I, 11)

Mi fermo e non faccio nulla. Non succede nulla. Non penso nulla. Ascolto lo scorrere del tempo.

Questo è il tempo. Familiare e intimo. La sua rapina ci porta. Il precipitare di secondi, ore, anni ci lancia verso la vita, poi ci trascina verso il niente... Lo abitiamo come i pesci l'acqua. Il nostro essere è essere nel tempo. La sua nenia ci nutre, ci apre il mondo, ci turba, ci spaventa, ci culla. L'universo dipana il suo divenire trascinato dal tempo, secondo l'ordine del tempo.

La mitologia indù rappresenta il fiume cosmico nell'immagine divina di Śiva che danza: la sua danza regge lo scorrere dell'universo, è il fluire del tempo. Cosa c'è di più universale e evidente di questo scorrere?

Eppure le cose sono più complicate. La realtà è spesso diversa da come appare: la Terra sembra piatta, invece è una sfera; il sole sembra roteare nel cielo, invece siamo noi a girare. Anche la struttura del tempo non è quella che sembra: è diversa da questo uniforme scorrere universale. L'ho scoperto sui libri di fisica, all'università, con stupore. Il tempo funziona diversamente da come ci appare.

Su quegli stessi libri ho anche scoperto che come davvero funziona il tempo non lo sappiamo ancora. La natura del tempo

resta il mistero forse più grande. Strani fili lo legano agli altri grandi misteri aperti: la natura della mente, l'origine dell'universo, il destino dei buchi neri, il funzionamento della vita. Qualcosa di essenziale continua a riportare alla natura del tempo.

La meraviglia è la sorgente del nostro desiderio di conoscere,¹ e scoprire che il tempo non è come pensavamo apre mille domande. La natura del tempo è stata al centro del mio lavoro di ricerca in fisica teorica per tutta la mia vita. Nelle pagine che seguono, racconto quello che abbiamo capito del tempo, le strade che stiamo seguendo per cercare di capire meglio, quello che ancora non capiamo e quello che mi sembra di intravedere.

Perché ricordiamo il passato e non il futuro? Siamo noi a esistere nel tempo o il tempo esiste in noi? Cosa significa davvero che il tempo «scorre»? Cosa lega il tempo alla nostra natura di soggetti?

Cosa ascolto, quando ascolto lo scorrere del tempo?

Il libro è diviso in tre parti ineguali. Nella prima, riassumo quello che ha compreso del tempo la fisica moderna. È come tenere fra le mani un fiocco di neve: man mano che lo studiamo ci si scioglie fra le dita fino a sparire. Pensiamo comunemente il tempo come qualcosa di semplice, fondamentale, che scorre uniforme, incurante di tutto, dal passato verso il futuro, misurato dagli orologi. Nel corso del tempo si succedono in ordine gli avvenimenti dell'universo: passati, presenti, futuri; il passato è fissato, il futuro aperto... Bene, tutto questo si è rivelato falso.

Gli aspetti caratteristici del tempo, uno dopo l'altro, sono risultati essere approssimazioni, abbagli dovuti alla prospettiva, come la piattezza della Terra o il girare del sole. Il crescere del nostro sapere ha portato a un lento sfaldarsi della

nozione di tempo. Quello che chiamiamo «tempo» è una complessa collezione di strutture,² di strati. Studiato via via in profondità, il tempo ha perso questi strati, uno dopo l'altro, un pezzo dopo l'altro. La prima parte del libro è il racconto di questo sfaldarsi del tempo.

La seconda parte descrive quello che resta alla fine. Un paesaggio vuoto e ventoso che sembra aver perso quasi traccia di temporalità. Un mondo strano, alieno; ma il nostro mondo. È come arrivare in alta montagna, dove sono solo neve, roccia e cielo. O come deve essere stato per Armstrong e Aldrin avventurarsi sulla sabbia immobile della luna. Un mondo essenziale che riluce di una bellezza arida, tersa e inquietante. La fisica su cui lavoro, la gravità quantistica, è lo sforzo di comprendere e dare senso coerente a questo paesaggio estremo e bellissimo: il mondo senza tempo.

La terza parte del libro è la più difficile, ma anche la più viva e la più vicina a noi. Nel mondo senza tempo deve comunque esserci qualcosa che dia poi origine al tempo che noi conosciamo, con il suo ordine, il passato diverso dal futuro, il dolce fluire. Il nostro tempo deve in qualche modo emergere intorno a noi, alla nostra scala, per noi.³

Questo è il viaggio di ritorno, verso il tempo perduto nella prima parte del libro inseguendo la grammatica elementare del mondo. Come in un romanzo giallo, andiamo ora alla ricerca del colpevole che ha generato il tempo. Ritroviamo uno a uno i pezzi di cui è composto il tempo a noi familiare, non come strutture elementari della realtà, ma come approssimazioni utili per quelle creature goffe e impacciate che siamo noi mortali, aspetti della nostra prospettiva, e forse anche aspetti - determinanti - di ciò che siamo. Perché alla fine - forse - il mistero del tempo riguarda ciò che siamo noi, più di quanto riguardi il cosmo. Forse, come nel primo e più grande di tutti i gialli, *l'Edipo re* di Sofocle, il colpevole era il detective.

Qui il libro diventa magma rovente di idee, talvolta luminose, talvolta confuse; se mi seguite, vi porto fin dove io credo arrivi

il nostro attuale sapere sul tempo, fino al grande oceano notturno e stellato di quello che ancora non sappiamo.

[1.](#) Aristotele, *Metafisica*, I, 2, 982 b.

[2.](#) La stratificazione della nozione di tempo è discussa a fondo per esempio da J.T. Fraser in *Of Time, Passion, and Knowledge*, Braziller, New York, 1975.

[3.](#) Il filosofo Mauro Dorato ha insistito sulla necessità di rendere il quadro concettuale elementare della fisica esplicitamente coerente con la nostra esperienza (*Che cos'è il tempo?*, Carocci, Roma, 2013).

PARTE PRIMA
LO SFALDARSI DEL TEMPO

1
LA PERDITA DELL'UNICITÀ

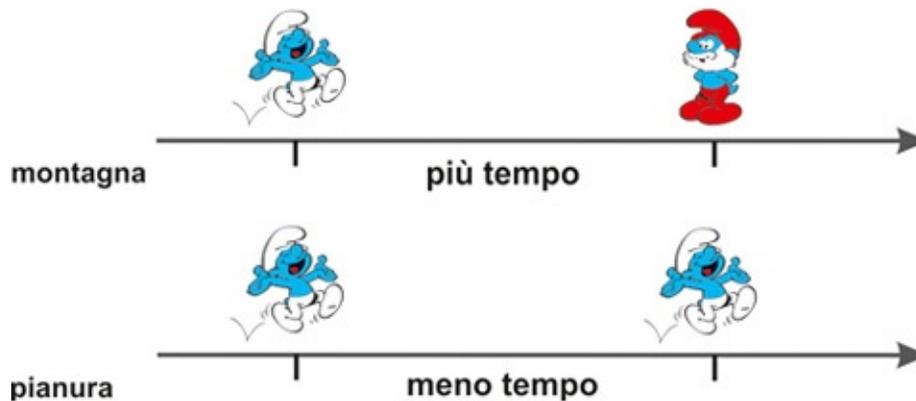
Danze d'amore intrecciano
fanciulle dolcissime
illuminate dalla luna
di queste limpide notti (I, 4)

Il rallentare del tempo

Inizio da un fatto semplice: il tempo scorre più veloce in montagna e più lento in pianura.

La differenza è piccola, ma si può controllare con orologi precisi che oggi si comperano su internet per un migliaio di euro. Con un po' di pratica, chiunque può constatare il rallentamento del tempo. Con gli orologi di laboratori specializzati si osserva il rallentamento del tempo anche fra pochi centimetri di dislivello: l'orologio per terra va un pelino più lento dell'orologio sul tavolo.

Non sono solo gli orologi a rallentare: in basso tutti i processi sono più lenti. Due amici si separano, uno va a vivere in pianura, l'altro in montagna. Dopo anni si ritrovano: quello in pianura ha vissuto meno, è invecchiato meno, il pendolo del suo cucù ha oscillato meno volte, ha avuto meno tempo per fare cose, le sue piante sono cresciute meno, i suoi pensieri hanno avuto meno tempo per svolgersi... In basso c'è meno tempo che in alto.



4

Sorprendente? Forse sì. Ma così è fatto il mondo. Il tempo passa più lento in alcuni luoghi, più rapido in altri.

La cosa davvero sorprendente è che qualcuno aveva capito questo rallentamento del tempo un secolo prima che avessimo gli orologi per misurarlo: Einstein.

La capacità di comprendere prima di vedere è il cuore del pensiero scientifico. Nell'antichità Anassimandro ha capito che il cielo continua sotto i nostri piedi, prima che le navi facessero il giro della Terra. All'inizio dell'era moderna Copernico ha capito che la Terra gira, prima che gli astronauti la vedessero girare dalla luna. Così Einstein ha capito che il tempo non scorre uniforme, prima che gli orologi fossero abbastanza precisi per misurare la differenza.

Nel corso di passi come questi, impariamo che cose che sembravano ovvie erano pregiudizi. Il cielo - sembrava - sta *ovviamente* sopra, non sotto, altrimenti la Terra cadrebbe giù. La Terra - sembrava - *ovviamente* non si muove, altrimenti che sconquasso. Il tempo - sembrava - passa dappertutto alla stessa velocità, è *ovvio*... I ragazzini crescono e imparano che il mondo non è tutto come sembra fra le pareti di casa; l'umanità nel suo insieme fa lo stesso.

Einstein si è posto una domanda che forse ci siamo posti in tanti quando abbiamo studiato la forza di gravità: come fanno sole e Terra ad «attirarsi» con la forza di gravità, se non si

toccano e non usano nulla in mezzo? Einstein ha cercato una storia plausibile. Ha immaginato che sole e Terra non si attirino direttamente, ma ciascuno dei due agisca gradualmente su ciò che c'è in mezzo. E siccome in mezzo ci sono solo spazio e tempo, ha immaginato che sole e Terra modifichino spazio e tempo attorno a sé, come un corpo immergendosi nell'acqua spostando l'acqua intorno a sé. La modifica della struttura del tempo, a sua volta, influisce sul movimento di tutti i corpi, facendoli «cadere» gli uni verso gli altri.⁵

Cosa significa «modifica della struttura del tempo»? Significa il rallentamento del tempo descritto sopra: ogni corpo rallenta il tempo nelle sue vicinanze. La Terra è una grande massa, e rallenta il tempo vicino a sé. Più in pianura e meno in montagna perché la montagna è un po' più lontana dalla Terra. Per questo l'amico in pianura invecchia meno.

Se le cose cadono, è a causa di questo rallentamento del tempo. Dove il tempo scorre uniforme, nello spazio interplanetario, le cose non cadono, fluttuano senza cadere. Qui sulla superficie del nostro pianeta, invece, il movimento delle cose si dirige naturalmente là dove il tempo passa più lento, come quando corriamo dalla spiaggia al mare e la resistenza dell'acqua sui piedi ci fa cadere a faccia in giù nelle onde. Le cose cadono verso il basso perché in basso il tempo è rallentato dalla Terra.⁶

Anche se non lo osserviamo facilmente, quindi, il rallentamento del tempo ha comunque effetti vistosi: fa cadere le cose, ci tiene attaccati con i piedi per terra. Se i piedi aderiscono al pavimento, la ragione è che tutto il corpo va naturalmente là dove il tempo scorre piano, e il tempo scorre più lento per i vostri piedi che per la vostra testa.

Strano? È come quando, osservando il sole al tramonto scendere gioioso e sparire lento dietro nubi lontane, ci siamo per la prima volta ricordati d'un tratto che non è il sole a muoversi, è la Terra che gira, e abbiamo percepito con gli occhi pazzi della mente l'intero nostro pianeta, e noi con esso,

roteare all'indietro, allontanandosi dal sole. Sono gli occhi del pazzo sulla collina di Paul McCartney,⁷ che come tanti occhi di pazzi vedono più in là dei nostri assonnati occhi quotidiani.

Diecimila Śiva danzanti

Ho una passione per Anassimandro, il filosofo greco vissuto ventisei secoli fa che ha capito che la Terra galleggia nello spazio, appoggiata sul nulla.⁸ Conosciamo il pensiero di Anassimandro attraverso altri che ne hanno parlato, ma resta un frammento dei suoi scritti, uno solo. Questo:

Le cose si trasformano l'una nell'altra secondo
necessità e si rendono giustizia
secondo l'ordine del tempo.

«Secondo l'ordine del tempo» (κατὰ τὴν τοῦ χρόνου τάξιν). Di uno dei momenti sorgivi della scienza della natura non ci restano che queste parole oscure dalla risonanza arcana, questo appello all'«ordine del tempo».

Astronomia e fisica sono cresciute seguendo l'indicazione di Anassimandro: comprendere come i fenomeni avvengano *secondo l'ordine del tempo*. L'astronomia antica ha descritto i movimenti degli astri *nel tempo*. Le equazioni della fisica descrivono come cambiano le cose *nel tempo*. Dalle equazioni di Newton che fondano la dinamica a quelle di Maxwell che descrivono i fenomeni elettromagnetici, dall'equazione di Schrödinger che descrive come evolvono i fenomeni quantistici a quelle della teoria quantistica dei campi che descrivono la dinamica delle particelle subatomiche, l'intera nostra fisica è scienza di come le cose evolvono «secondo l'ordine del tempo».

Per antica convenzione, indichiamo questo tempo con la lettera *t* (tempo inizia per «t» in francese, inglese e spagnolo, ma non in tedesco, arabo, russo o cinese). Cosa indica *t*? Indica il numero che misuriamo con un orologio. Le equazioni ci dicono

come cambiano le cose, man mano che passa il tempo misurato da un orologio.

Ma se orologi diversi indicano tempi diversi, come abbiamo visto sopra, cosa indica t ? Quando i due amici si ritrovano dopo aver vissuto uno in montagna e l'altro in pianura, gli orologi che hanno al polso segnano tempi diversi. Quale dei due è t ? Gli orologi in un laboratorio di fisica vanno a velocità diverse, se uno è sul tavolo e l'altro per terra: quale dei due segna il tempo? Come descrivere lo sfasamento relativo dei due orologi? Dobbiamo dire che l'orologio per terra rallenta rispetto al vero tempo misurato sul tavolo? O che l'orologio sul tavolo accelera rispetto al vero tempo misurato per terra?

La domanda è priva di senso. È come chiedersi se sia *più vero* il valore della sterlina in dollari o il valore del dollaro in sterline. Non c'è un valore vero, ci sono due monete che hanno valori *una rispetto all'altra*. Non c'è un tempo più vero. Ci sono due tempi, segnati da orologi reali e diversi, che cambiano *uno rispetto all'altro*. Nessuno dei due è più vero dell'altro.

Anzi, non ce ne sono *due* di tempi: ce ne sono legioni. Un tempo diverso per ogni punto dello spazio. Non c'è un solo tempo. Ce ne sono tantissimi.

Il tempo indicato da un particolare orologio, misurato da un particolare fenomeno, in fisica si chiama «tempo proprio». Ogni orologio ha il suo tempo proprio. Ogni fenomeno che accade ha il suo tempo proprio, il suo proprio ritmo.

Einstein ci ha insegnato a scrivere equazioni che descrivono come evolvono i tempi propri *uno rispetto all'altro*. Ci ha insegnato come calcolare la differenza fra due tempi.⁹

La singola quantità «tempo» si frantuma in una ragnatela di tempi. Non descriviamo come il mondo evolve nel tempo: descriviamo le cose evolvere in tempi locali e i tempi locali evolvere *uno rispetto all'altro*. Il mondo non è come un plotone che avanza al ritmo di un comandante. È una rete di eventi che si influenzano l'un l'altro.

Così dipinge il tempo la teoria della relatività generale di Einstein. Le sue equazioni non hanno un tempo, ne hanno innumerevoli. Fra due avvenimenti, come il separarsi e il rincontrarsi di due orologi, la durata non è unica.¹⁰ La fisica non descrive come evolvono le cose «nel tempo». Bensì come evolvono le cose nei loro tempi e come evolvono «i tempi» *l'uno rispetto all'altro*.¹¹

Il tempo ha perso il primo strato: la sua unicità. In ogni luogo, il tempo ha un ritmo diverso, un diverso andare. Intrecciano danze a ritmi diversi, le cose del mondo. Se il mondo è retto da Śiva danzante, di Śiva danzanti ce ne devono essere diecimila, una grande danza comune, come un quadro di Matisse...

4. Per tutte le immagini contenenti i Puffi ©  - 2017 - Licensed through I.M.P.S. (Brussels) - www.smurf.com

5. Questo è il succo della teoria della relatività generale (A. Einstein, *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, «Annalen der Physik», 49, 1916, pp. 769-822).

6. Nell'approssimazione di campo debole, la metrica si può scrivere $ds^2 = (1+2\varphi(x))dt^2 - dx^2$, dove $\varphi(x)$ è il potenziale di Newton. La gravità Newtoniana segue dalla sola modifica della componente temporale della metrica, g_{00} , cioè dal rallentamento locale del tempo. Le geodetiche di questa metrica descrivono il cadere dei corpi: curvano verso il potenziale più basso, dove il tempo rallenta. (Questa e note simili sono rivolte a chi ha familiarità con la fisica teorica).

7. «But the fool on the hill / sees the sun going down, / and the eyes in his head / see the world spinning 'round...».

8. C. Rovelli, *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di*

Anassimandro, Mondadori, Milano, 2011.

9. Per esempio: $t_{\text{tavolo}} - t_{\text{per terra}} = \frac{2gh}{c^2} t_{\text{per terra}}$, dove c è la velocità della luce, $g = 9,8\text{m/s}^2$ è l'accelerazione di Galileo e h è quanto è alto il tavolo.

10. Si possono anche scrivere con una singola variabile t , la «coordinata temporale», ma questa non indica il tempo misurato da un orologio (determinato da ds , non da dt) e la si può cambiare arbitrariamente senza cambiare il mondo descritto. Questa t non rappresenta una quantità fisica. Quello che gli orologi misurano è il tempo proprio lungo una linea d'universo γ , dato da $t_\gamma = \int_\gamma (g_{ab}(x)dx^a dx^b)^{1/2}$. La relazione fisica fra questa quantità e $g_{ab}(x)$ è discussa più avanti.

11 Nota grammaticale. La parola «tempo» è usata con diversi significati legati fra loro, ma distinti: 1. «Tempo» è il fenomeno generale del susseguirsi degli eventi («Il tempo è inesorabile»); 2. «Tempo» indica un intervallo lungo questo susseguirsi («nel tempo fiorito della primavera»), oppure 3. la sua durata («Quanto tempo hai aspettato?»); 4. «Tempo» può anche indicare un particolare momento («È tempo di migrare»); 5. «Tempo» indica la variabile che misura la durata («L'accelerazione è la derivata della velocità rispetto al tempo»). Nel libro uso la parola «tempo» indifferentemente in ciascuno di questi significati, come nella lingua abituale. In caso di confusione, ripensate a questa nota.

LA PERDITA DELLA DIREZIONE

Se più dolcemente di Orfeo,
 che gli alberi anche commosse,
 tu modulassi la cetra,
 il sangue non tornerebbe
 all'ombra vana...
 Duro destino,
 ma meno grave si fa,
 col sopportare,
 tutto ciò che far tornare a
 ritroso
 è impossibile (I, 24)

Da dove viene l'eterna corrente?

Gli orologi andranno anche a velocità diverse in montagna e in pianura, ma in fondo è questo che ci interessa del tempo? L'acqua di un fiume scorre lenta accanto alle rive e rapida al centro, ma è sempre un fluire... Il tempo non è comunque qualcosa che scorre tutto dal passato al futuro? Lasciamo perdere la puntigliosa misura di *quanto* tempo passa, su cui mi sono arrovellato nel precedente capitolo: i *numeri* per misurare il tempo. C'è un aspetto più essenziale: il suo scorrere, il fluire, *l'eterna corrente* della prima delle *Elegie duinesi* di Rilke:

L'eterna corrente
 trascina sempre con sé tutte le epoche
 attraverso entrambi i regni
 e in entrambi le sovrasta.¹²

Passato e futuro sono diversi. Cause precedono effetti. Il dolore segue la ferita, non la anticipa. Il bicchiere si rompe in mille pezzi e i mille pezzi non riformano il bicchiere. Il passato non possiamo cambiarlo; possiamo avere rimpianti, rimorsi, ricordi di felicità. Il futuro invece è incertezza, desiderio, inquietudine, spazio aperto, forse destino. Possiamo viverlo, sceglierlo, perché ancora non è; tutto vi è possibile... Il tempo non è una linea con due direzioni eguali: è una freccia, con estremità diverse:



È questo che ci sta a cuore del tempo, più che la velocità a cui passa. È questo il cuore del tempo. Questo scivolare che sentiamo bruciare sulla pelle, nell'ansia del futuro, nel mistero della memoria; qui si nasconde il segreto del tempo: il senso di quello che intendiamo, quando pensiamo il tempo. Cos'è questo fluire? Dov'è annidato nella grammatica del mondo? Cosa distingue il passato, e il suo essere stato, dal futuro, e il suo non essere ancora stato, fra le pieghe del meccanismo del mondo? Perché il passato ci è così diverso dal futuro?

La fisica del XIX e XX secolo si è scontrata con queste domande ed è incappata in qualcosa di inaspettato e sconcertante, assai più del fatto, in fondo marginale, che il tempo passi a velocità diverse in luoghi diversi. La differenza fra passato e futuro - fra causa e effetto, fra memoria e speranza, fra rimorso e intenzione - nelle leggi elementari che descrivono i meccanismi del mondo non c'è.

Calore

Tutto è iniziato con un regicidio. Il 16 gennaio del 1793, la *Convention nationale* di Parigi vota la messa a morte di Luigi XVI. Forse una radice profonda della scienza è la ribellione: non accettare l'ordine delle cose presenti.¹³ Fra i membri che dichiarano il voto fatale c'è Lazare Carnot, amico di Robespierre. Lazare ha una passione per il grande poeta persiano Sa'dī di Shiraz, il poeta catturato e reso schiavo dai crociati ad Acri, il poeta che ha scritto i versi luminosi che stanno all'entrata del palazzo dell'ONU:

Tutti i figli di Adamo formano un solo corpo,
sono della stessa essenza.
Quando il tempo affligge con il dolore
una parte del corpo
le altre parti soffrono.
Se tu non senti la pena degli altri
non meriti di essere chiamato uomo.

Forse una radice profonda della scienza è la poesia: saper vedere al di là del visibile. Da Sa'dī, Carnot chiama Sadi il suo primo figlio maschio. Nasce così, dalla ribellione e dalla poesia, Sadi Carnot.

Il giovane si appassiona alle macchine a vapore che nel XIX secolo stanno cominciando a cambiare il mondo, usando il fuoco per far girare le cose. Nel 1824 scrive un libretto con un titolo seducente: *Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco*, dove cerca di comprendere le basi teoriche del funzionamento di queste macchine. Il trattatello è pieno di idee sbagliate: immagina che il calore sia una cosa concreta, una specie di fluido, che produce energia «cadendo» dalle cose calde alle cose fredde, come l'acqua di una cascata produce energia cadendo dall'alto al basso. Ma c'è un'idea chiave: le macchine a vapore funzionano in ultima analisi perché il calore passa dal caldo al freddo.

Il libretto di Sadi finisce nelle mani di un austero professore prussiano dagli occhi spiritati, Rudolf Clausius. È lui a cogliere il punto della faccenda, enunciando una legge che diverrà celebre: se nient'altro intorno cambia,



il calore *non può* passare
da un corpo freddo a uno caldo.

Il punto cruciale è la differenza con le cose che cadono: una palla può cadere, ma anche tornare su da sola – per esempio in un rimbalzo. Il calore no.

Questa legge enunciata da Clausius è l'*unica* legge generale della fisica che distingue il passato dal futuro.

Nessuna delle altre lo fa: le leggi del mondo meccanico di Newton, le equazioni dell'elettricità e del magnetismo di Maxwell, quelle della gravità relativistica di Einstein, quelle della meccanica quantistica di Heisenberg, Schrödinger e Dirac, quelle delle particelle elementari dei fisici del XX secolo... *nessuna* di queste equazioni distingue il passato dal futuro.¹⁴ Se una sequenza di eventi è permessa da queste equazioni, lo è anche la stessa sequenza ribaltata all'indietro nel tempo.¹⁵ Nelle equazioni elementari del mondo,¹⁶ la freccia del tempo appare *solo* quando c'è il calore.¹⁷ Il legame fra tempo e calore è dunque profondo: ogni volta che si manifesta una differenza fra passato e futuro, c'è di mezzo del calore. In

tutti i fenomeni che diventano assurdi se proiettati all'indietro, c'è qualcosa che si scalda.

Se guardo un film che mostra una palla che rotola, non so dire se il film è proiettato giusto o all'indietro. Ma se nel film la palla rallenta e si ferma, vedo che il film è giusto, perché proiettato al contrario mostrerebbe avvenimenti implausibili: una palla che si mette in moto da sola. Il rallentare e fermarsi della palla sono dovuti all'attrito, che produce calore. Solo dove c'è calore c'è distinzione fra passato e futuro. I pensieri si dipanano dal passato al futuro, non viceversa, e infatti pensare produce calore nella testa...

Clausius introduce la quantità che misura questo irreversibile andare del calore in una direzione sola, e - tedesco colto - le affibbia un nome preso dal greco, *entropia*: «Preferisco prendere il nome di quantità scientifiche importanti dalle lingue antiche, in modo che possano essere eguali in tutte le lingue vive. Propongo dunque di chiamare *entropia* di un corpo la quantità S , dalla parola greca per trasformazione: ἡ τροπή». ¹⁸

so erhält man die Gleichung:

$$(64) \int \frac{\delta Q}{T} = S - S_0,$$

welche, nur etwas anders geordnet, dieselbe ist, wie die unter (60) angeführte zur Bestimmung von S dienende Gleichung.

Sucht man für S einen bezeichnenden Namen, so könnte man, ähnlich wie von der Größe U gesagt ist, sie sey der Wärme- und Werkialalt des Körpers, von der Größe S sagen, sie sey der Verwandlungialalt des Körpers. Da ich es aber für besser halte, die Namen örerätiger für die Wissenschaft wichtiger Größen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die Größe S nach dem griechischen Worte ἡ τροπή, die Verwandlung, die *Entropie* des Körpers zu nennen. Das Wort *Entropie* habe ich absichtlich dem Worte *Energie* möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden Größen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäßig zu seyn scheint.

Fassen wir, bevor wir weiter gehen, der Uebersichtlichkeit wegen noch einmal die verschiedenen im Verlaufe der

La pagina dell'articolo di Clausius dove sono introdotti il concetto e il nome «entropia». L'equazione è la definizione matematica della variazione dell'entropia ($S - S_0$) di un corpo: la somma (integrale) delle quantità di calore dQ , uscite dal corpo alla temperatura T .

L'entropia di Clausius è una quantità misurabile e calcolabile, ¹⁹ indicata con la lettera S , che cresce o resta eguale, ma *non diminuisce mai*, in un processo isolato. Per indicare che non

diminuisce, si scrive:

$$\Delta S \geq 0$$

Si legge: «Delta S è sempre maggiore o eguale a zero», e questo si chiama «secondo principio della termodinamica» (il primo è la conservazione dell'energia). Il suo contenuto è il fatto che il calore passa da solo dai corpi caldi ai corpi freddi, mai viceversa.

Perdonatemi l'equazione: è l'unica del libro. È l'equazione della freccia del tempo, non potevo non scriverla, nel mio libro sul tempo.

È l'unica equazione della fisica fondamentale che conosce la differenza fra passato e futuro. La sola che ci parla del fluire del tempo. Dentro questa inusuale equazione sta nascosto un mondo.

A svelarlo sarà uno sfortunato e simpatico austriaco, nipote di un costruttore di orologi, figura tragica e romantica: Ludwig Boltzmann.

Sfocare

È Ludwig Boltzmann a iniziare a vedere cosa si nasconde dietro l'equazione $\Delta S \geq 0$, gettandoci in uno dei tuffi più vertiginosi verso la nostra comprensione della grammatica intima del mondo.



20

Ludwig lavora a Graz, Heidelberg, Berlino, Vienna, e poi di nuovo a Graz. Dice di sé che questa sua instabilità viene dal fatto di essere nato il martedì di carnevale. È una battuta a metà, perché il suo carattere è davvero instabile: cuore tenero, oscilla fra esaltazione e depressione. Basso, robusto, con i capelli scuri e ricciuti e una barba talebana, la sua ragazza lo chiamava «il mio dolce caro ciccione». È lui, Ludwig, lo sfortunato eroe della direzione del tempo.

Sadi Carnot pensava che il calore fosse una sostanza, un fluido. Si sbagliava. Il calore è l'agitazione microscopica delle molecole. Un tè caldo è un tè dove le molecole si agitano molto. Un tè freddo è un tè dove le molecole si agitano poco. In un cubetto di ghiaccio, che è ancora più freddo, le molecole sono ancora più ferme.

Alla fine dell'Ottocento molti ancora non credevano che molecole e atomi esistessero davvero; Ludwig era convinto della loro realtà e ne aveva fatto la sua battaglia. Le sue diatribe con chi non credeva agli atomi sono rimaste epiche. «Noi giovani in cuor nostro eravamo tutti dalla sua parte» racconta anni dopo uno dei giovani leoni della meccanica

quantistica.²¹ In una di queste focose polemiche durante una conferenza a Vienna, un noto fisico²² sosteneva contro di lui che il materialismo scientifico era morto perché le leggi della materia non conoscono la direzione del tempo: anche i fisici dicono scemenze.

Gli occhi di Copernico hanno visto la Terra girare guardando il sole che tramonta. Gli occhi di Boltzmann hanno visto *muoversi* furibondamente atomi e molecole guardando un bicchiere di acqua immobile.

Vediamo l'acqua di un bicchiere come gli astronauti la Terra dalla luna: quieta lucentezza azzurra. Dell'esuberante agitarsi della vita sulla Terra, piante e animali, amori e disperazioni, non si vede nulla dalla luna. Solo la screziata biglia azzurra. Dentro i riflessi di un bicchier d'acqua vi è un'analogia tumultuosa attività di miriadi di molecole - molte più che gli esseri viventi sulla Terra.

Questo agitarsi *mescola* tutto. Se una parte delle molecole è ferma, viene trascinata dalla frenesia delle altre e si mette anch'essa in moto: l'agitazione si diffonde, le molecole si urtano e si spingono. Per questo le cose fredde si scaldano a contatto con le cose calde: le loro molecole vengono urtate da quelle calde e trascinate nell'agitazione, cioè si scaldano.

L'agitazione termica è come un continuo mescolare un mazzo di carte: se le carte sono in ordine, il mescolamento le disordina. Così il calore passa dal caldo al freddo e non viceversa: per mescolamento, per il disordinarsi naturale di tutto.

Questo ha capito Ludwig Boltzmann. La differenza fra passato e futuro non è nelle leggi elementari del moto, non è nella grammatica profonda della natura. È il disordinarsi naturale che porta verso situazioni via via meno peculiari, meno speciali.

È una brillante intuizione. Corretta. Ma chiarisce l'origine della differenza fra passato e futuro? No. Sposta solo la domanda. La domanda ora diventa: perché, in una delle due direzioni del tempo - quella che chiamiamo passato -, le cose erano

ordinate? Perché il grande mazzo di carte dell'universo era ordinato nel passato? Perché l'entropia era bassa nel passato?

Se osserviamo un fenomeno che *inizia* in uno stato di bassa entropia, è chiaro perché l'entropia aumenta: perché mescolandosi tutto si disordina. Ma perché i fenomeni che osserviamo, attorno a noi, nel cosmo, *iniziano* in stati di bassa entropia?

Arriviamo al punto chiave. Se le prime 26 carte di un mazzo sono tutte rosse e le successive 26 tutte nere, diciamo che la configurazione delle carte è «particolare». È «ordinata». Quest'ordine si perde mescolando il mazzo. È una configurazione «di bassa entropia». Questa configurazione è peculiare se guardo il *colore* delle carte - rosse o nere. Ma è peculiare perché guardo il colore. Un'altra configurazione sarà peculiare perché le prime 26 carte sono solo cuori e picche. Oppure dispari, o le più rovinare, o esattamente le stesse 26 di tre giorni fa... o qualunque altra caratterizzazione. A pensarci bene, *qualunque configurazione è peculiare*: qualunque configurazione è unica, se ne guardo *tutti* i dettagli, perché qualunque configurazione ha sempre qualcosa che la caratterizza in modo unico. Ogni bambino è unico e particolare, per la sua mamma.

La nozione secondo cui certe configurazioni siano più peculiari di altre (per esempio 26 carte rosse seguite da 26 carte nere) ha senso solo se mi limito a guardare pochi aspetti delle carte (per esempio il colore). Se distinguo tutte le carte, le configurazioni sono tutte equivalenti: non ce ne sono di più o meno particolari.²³ La nozione di «peculiarità» nasce solo nel momento in cui vedo l'universo in maniera sfocata, approssimativa.

Boltzmann ha mostrato che l'entropia esiste perché descriviamo il mondo in maniera sfocata. Ha dimostrato che l'entropia è precisamente la quantità che conta *quante* sono le diverse configurazioni che la nostra visione sfocata *non* distingue. Calore, entropia, bassa entropia del passato sono

nozioni che fanno parte di una descrizione approssimata, statistica, della natura.

Ma allora la differenza fra passato e futuro, in ultima analisi, è legata a questa sfocatura... Se potessi tener conto di tutti i dettagli, dello stato esatto, microscopico, del mondo, gli aspetti caratteristici del fluire del tempo sparirebbero?

Sì. Se osservo lo stato microscopico delle cose, la differenza fra passato e futuro scompare. Il futuro del mondo, per esempio, è determinato dallo stato presente, né più né meno di come lo sia il passato.²⁴ Diciamo spesso che le cause precedono gli effetti, ma nella grammatica elementare delle cose non c'è distinzione fra «causa» e «effetto».²⁵ Ci sono regolarità, rappresentate da quelle che chiamiamo leggi fisiche, che legano eventi a tempi diversi, regolarità simmetriche fra futuro e passato... Nella descrizione microscopica non c'è un senso in cui il passato sia diverso dal futuro.²⁶

Questa è la conclusione sconcertante che emerge dal lavoro di Boltzmann: la differenza fra passato e futuro si riferisce alla *nostra* visione sfocata del mondo. È una conclusione che lascia esterrefatti: possibile che questa mia sensazione così vivida, elementare, esistenziale – lo scorrere del tempo – dipenda dal fatto che non percepisco il mondo nel suo minuto dettaglio? Una specie di abbaglio dovuto alla mia miopia? Davvero, se vedessi e prendessi in considerazione la danza esatta dei miliardi di molecole, il futuro sarebbe «come» il passato? Potrei avere eguale conoscenza – o ignoranza – del passato come del futuro? D'accordo che le nostre intuizioni sul mondo sono spesso sbagliate. Ma può il mondo essere così profondamente diverso dalla nostra intuizione?

Tutto questo mina alla base il nostro usuale modo di comprendere il tempo. Genera incredulità, come avvenne per il movimento della Terra. Ma come per il movimento della Terra, l'evidenza è schiacciante: tutti i fenomeni che caratterizzano il fluire del tempo si riducono a uno stato «particolare» nel passato del mondo, che è «particolare» per la sfocatura della

nostra prospettiva.

Più avanti mi avventurerò nel tentativo di guardare dentro il mistero di questa sfocatura, di come si leghi alla strana improbabilità iniziale dell'universo. Qui mi fermo al fatto strabiliante che l'entropia - questo ha capito Boltzmann - non è null'altro che il numero degli stati microscopici che la nostra sfocata visione del mondo non distingue.



L'equazione che dice esattamente questo²⁷ è incisa sulla tomba di Boltzmann, a Vienna, in alto sopra un busto di marmo che lo rappresenta austero e arcigno come credo lui non sia mai stato. Non sono pochi i giovani studenti di fisica che passano a visitare la tomba, e si fermano pensosi davanti ad essa. Anche, talvolta, qualche anziano professore.

Il tempo ha perso un altro pezzo cruciale: l'intrinseca differenza fra passato e futuro. Boltzmann ha capito che non c'è nulla di intrinseco nel fluire del tempo. Solo il riflesso

sfocato di una misteriosa improbabilità dell'universo in un punto del passato.

Solo questa è la sorgente dell'*eterna corrente* dell'elegia di Rilke.

Nominato professore all'università a soli venticinque anni, ricevuto a corte dall'Imperatore nel momento di massimo successo, aspramente criticato da gran parte del mondo accademico che non ne comprendeva le idee, sempre in bilico fra entusiasmo e depressione, il «dolce caro ciccione», Ludwig Boltzmann, terminerà la sua vita impiccandosi.

A Duino, vicino a Trieste, mentre la moglie e la figlia nuotano nell'Adriatico.

Quella stessa Duino dove qualche anno dopo Rilke scriverà la sua elegia.

[12.](http://www.federicaceranovi.com/rainer-maria-rilke-le-elegie-duinesi-una-traduzione/) R.M. Rilke, *Duineser Elegien*, in *Sämtliche Werke*, Insel, Frankfurt a. M., vol. I, 1955, I, vv. 83-85; trad. it. di F. Ceranovi, <http://www.federicaceranovi.com/rainer-maria-rilke-le-elegie-duinesi-una-traduzione/>.

13. La Rivoluzione francese è uno straordinario momento di vitalità scientifica, nel quale nascono le basi della chimica, della biologia, della meccanica analitica e di molto altro. La rivoluzione sociale è andata mano nella mano con la rivoluzione scientifica. Il primo sindaco rivoluzionario di Parigi era un astronomo, Lazare Carnot un matematico, Marat si considerava innanzitutto un fisico. Lavoisier è attivo in politica. Lagrange è onorato dai più diversi governi che si succedono in quel tormentato e splendido momento dell'umanità. Si veda S. Jones, *Revolutionary Science: Transformation and Turmoil in the Age of the Guillotine*, Pegasus, New York, 2017.

[14.](#) Cambiando quanto opportuno: per esempio il segno del campo magnetico nelle equazioni di Maxwell, carica e parità delle particelle elementari eccetera. È l'invarianza per CPT (Coniugazione di carica, Parità e inversione Temporale) che è rilevante.

[15.](#) Le equazioni di Newton determinano come *accelerano* le cose, e l'accelerazione non cambia se proietto un film all'indietro. L'accelerazione di un sasso lanciato in alto è la stessa di un sasso che cade. Se immagino gli anni scorrere all'indietro, la luna gira attorno alla Terra in senso opposto, ma appare egualmente attirata dalla Terra.

[16.](#) La conclusione non cambia aggiungendo la gravità quantistica. Sugli sforzi per cercare l'origine della direzione del tempo, si veda per esempio H.D. Zeh, *Die Physik der Zeitrichtung*, Springer, Berlin, 1984.

[17](#) Strettamente parlando, la freccia del tempo si manifesta anche in fenomeni non direttamente legati al calore, ma che condividono con il calore aspetti cruciali. Per esempio nell'uso dei potenziali ritardati in elettrodinamica. Anche per questi fenomeni vale quanto segue, e in particolare le conclusioni. Preferisco non appesantire la discussione spezzandola in tutti i suoi diversi sottocasi.

[18.](#) R. Clausius, *Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie*, «Annalen der Physik», 125, 1865, pp. 353-400, qui p. 390.

[19.](#) In particolare come quantità di calore che esce dal corpo *divisa per la temperatura*. Quando il calore esce da un corpo caldo ed entra in un corpo freddo, l'entropia totale aumenta perché la differenza di temperatura fa sì che l'entropia dovuta al calore che esce è meno di quella dovuta al calore che entra. Quando tutti i corpi raggiungono la stessa temperatura, l'entropia ha raggiunto il suo massimo: siamo arrivati

all'equilibrio.

[20.](#) Ludwig Boltzmann, litografia di Rudolf Fenzi (1898) © Hulton Archive / Getty Images

[21.](#) Arnold Sommerfeld.

[22.](#) Hans Christian Ørsted.

[23.](#) La definizione di entropia richiede un *coarse graining*, cioè la distinzione fra microstati e macrostati. L'entropia di un macrostato è determinata dal numero di corrispondenti microstati. In termodinamica classica, il *coarse graining* è definito nel momento in cui si stabilisce di trattare alcune variabili del sistema come «manipolabili» o «misurabili» dall'esterno (per esempio volume o pressione di un gas). Un macrostato è determinato fissando *queste* variabili macroscopiche.

[24.](#) Cioè in maniera deterministica se si trascura la meccanica quantistica, e in maniera probabilistica se invece teniamo conto della meccanica quantistica. In entrambi i casi, allo stesso modo per il futuro e per il passato.

[25.](#) Qualche dettaglio in più su questo punto nel capitolo 11.

[26.](#) Il punto non è che quello che succede a un cucchiaino freddo dentro una tazza di tè caldo dipenda dal fatto che io abbia una visione sfocata o no. Quello che succede al cucchiaino e alle sue molecole, ovviamente, non dipende da come lo vedo io. Succede e basta. Il punto è che la descrizione in termini di calore, temperatura, passaggio di calore dal tè al cucchiaino, è una visione sfocata di quanto succede, ed è solo in questa visione sfocata che appare la vistosa differenza fra passato e futuro.

[27.](#) $S = k \log W$. S è l'entropia, W il numero di stati microscopici, o il corrispondente volume nello spazio delle fasi,

e k è solo una costante, chiamata oggi la costante di Boltzmann, che aggiusta le (arbitrarie) dimensioni.

3
LA FINE DEL PRESENTE

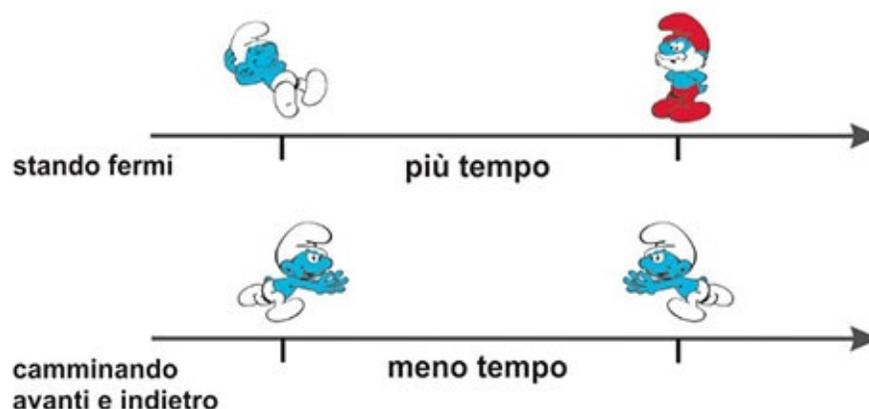
Si apre
a questo vento dolce
di primavera
il chiuso gelo dell'immobile
stagione
e le barche tornano al mare...
Adesso dobbiamo intrecciare
corone
e ornarcene il capo (I, 4)

Anche la velocità rallenta il tempo

Dieci anni prima di comprendere che il tempo è rallentato dalle masse,²⁸ Einstein aveva compreso che il tempo è rallentato dalla velocità.²⁹ La conseguenza di questa scoperta è la più devastante di tutte, per la nostra intuizione del tempo.

Il fatto in sé è semplice: invece di mandare i due amici del primo capitolo in montagna e in pianura, chiediamo a uno di stare fermo e all'altro di camminare avanti e indietro. Il tempo passa più lentamente per l'amico che cammina.

Come prima, i due amici vivono durate diverse: quello che si muove invecchia meno, il suo orologio segna meno tempo, ha meno tempo per pensare, la pianta che porta con sé ci mette di più a germogliare, e così via. Per tutto quanto si muove, il tempo passa più lento.



Perché questo piccolo effetto sia visibile bisogna muoversi veloce. La prima volta è stato misurato negli anni Settanta, portando orologi precisi su aerei a reazione.³⁰ L'orologio in volo resta indietro rispetto a uno simile a terra. Oggi il rallentare del tempo con la velocità si osserva direttamente in molti esperimenti di fisica.

Anche in questo caso Einstein aveva capito che il tempo può rallentare *prima* che il fenomeno fosse osservato. A venticinque anni, studiando l'elettromagnetismo. Non è stata neppure una deduzione molto complicata: elettricità e magnetismo sono ben descritti dalle equazioni di Maxwell. Queste contengono la solita variabile tempo t , ma hanno una proprietà curiosa: se tu viaggi a una certa velocità, *per te* le equazioni di Maxwell non sono più vere (cioè non descrivono quello che tu misuri), *a meno che* tu non chiami «tempo» una variabile *diversa*, t' .³¹ Di questa curiosità delle equazioni di Maxwell si erano accorti i matematici,³² ma nessuno capiva cosa volesse dire. Einstein lo ha capito: t è il tempo che passa per me che sto fermo, il ritmo a cui avvengono i fenomeni fermi con me; t' è il «tuo tempo»: il ritmo a cui avvengono i fenomeni che si muovono con te. t è il tempo che misura il mio orologio fermo, t' il tempo che misura il tuo orologio in moto. Nessuno aveva immaginato che il tempo potesse essere diverso per un orologio fermo e per uno in moto. Einstein lo ha letto dentro le equazioni dell'elettromagnetismo:

le ha prese sul serio.³³

Un oggetto in movimento sperimenta quindi una durata minore di un oggetto fermo: l'orologio batte meno secondi, una pianta cresce meno, un ragazzo sogna di meno. Per un oggetto in moto³⁴ il tempo è contratto. Non solo non esiste un tempo comune a diversi luoghi, ma non esiste neppure un tempo unico in un singolo luogo. Una durata può solo essere associata a un movimento di qualcosa, a un percorso dato. Il «tempo proprio» non dipende solo da dove si è, dalla vicinanza o meno di masse, dipende anche dalla velocità a cui ci muoviamo.

Il fatto in sé è strano. Ma è la sua conseguenza a essere straordinaria. Tenetevi forte, ora si vola.

«Adesso» non significa nulla

Cosa sta accadendo *adesso* in un luogo lontano? Per esempio, immaginiamo che mia sorella sia andata su *Proxima b*, il pianeta scoperto da poco, che ruota attorno a una stella vicina, a circa quattro anni luce di distanza da noi. Domanda: cosa sta facendo *adesso* mia sorella su *Proxima b*?

La risposta corretta è che la domanda non ha senso. È come chiedersi, stando a Venezia: «Cosa c'è *qui*, a Pechino?». Non ha senso, perché se dico «*qui*» e sono a Venezia faccio riferimento a un luogo che sta a Venezia, non a Pechino.

Se chiedo cosa sta facendo mia sorella *ora*, di solito la risposta è facile: la guardo. Se è lontana, le telefono e glielo chiedo. Ma attenzione: se guardo mia sorella, ricevo luce che viaggia da lei ai miei occhi. La luce ci mette un po' di tempo a viaggiare, diciamo qualche nanosecondo - miliardesimo di secondo -, quindi non vedo cosa sta facendo *adesso*: vedo cosa stava facendo un nanosecondo fa. Se è a New York e le telefono, la sua voce ci mette qualche millisecondo a viaggiare da New York a me, quindi posso sapere al più cosa faceva mia sorella qualche millisecondo prima. Inezie.

Se mia sorella è su *Proxima b*, però, la luce ci mette quattro anni a viaggiare da là a qui. Quindi se guardo mia sorella con un telescopio, o se ricevo una comunicazione radio da lei, so cosa faceva quattro anni fa, non cosa fa ora. Certamente «*adesso* su *Proxima b*» non è quello che vedo nel telescopio o che sento dalla sua voce che esce dalla radio.

Forse posso dire che quello che fa mia sorella *adesso* è quello che fa quattro anni dopo il momento in cui la vedo nel telescopio? No, non funziona: quattro anni dopo il momento in cui la vedo, per il suo tempo, lei potrebbe essere già tornata sulla Terra, fra dieci anni terrestri. Quindi non è certo *adesso*!

Oppure: se dieci anni fa, partendo per *Proxima b*, mia sorella ha preso un calendario per tenere il conto del tempo, posso pensare che *adesso* per lei sia quando ha contato dieci anni? No, non funziona: dieci anni *suoi* dopo la partenza, lei potrebbe essere già tornata qui, dove nel frattempo sono passati vent'anni. Allora quando è *adesso* su *Proxima b*?

La realtà è che bisogna rinunciare.³⁵ Non c'è nessuno speciale momento su *Proxima b* che corrisponda a quello che qui e ora è il presente.

Caro lettore, fai una pausa, e lascia che questa conclusione sia assimilata dai tuoi pensieri. Secondo me, questa è la conclusione più stupefacente di tutta la fisica contemporanea.

Chiedersi quale momento della vita di mia sorella su *Proxima b* corrisponda ad *adesso* non ha senso. È come chiedere quale squadra di calcio ha vinto i campionati di basket, quanti soldi ha guadagnato una rondine, o quanto pesi una nota musicale. Sono domande senza senso perché le squadre di calcio giocano a calcio non a basket, le rondini non si occupano di soldi e i suoni non hanno peso. I campionati di basket si riferiscono alle squadre di basket, non a quelle di calcio. I guadagni in denaro si riferiscono agli umani nella nostra società, non alle rondini. La nozione di «presente» si riferisce alle cose vicine, non a quelle lontane.

Il nostro «presente» non si estende a tutto l'universo. È come una bolla vicino a noi.

Quanto è estesa questa bolla? Dipende dalla precisione con cui determiniamo il tempo. Se è di nanosecondi, il presente è definito solo per pochi metri, se è di millisecondi, il presente è definito per chilometri. Noi umani distinguiamo a malapena i decimi di secondo, e possiamo tranquillamente considerare l'intero pianeta Terra come un'unica bolla, dove parliamo del presente come di un istante comune a tutti noi. Non più in là.

Più in là c'è il nostro passato (gli avvenimenti accaduti prima di quello che possiamo vedere). C'è il nostro futuro (gli avvenimenti che accadranno dopo il momento in cui, da là, si può vedere il qui e ora). Ma fra gli uni e gli altri c'è un intervallo che non è né passato né futuro e ha una durata: 15 minuti su Marte, 8 anni su *Proxima b*, milioni di anni nella galassia di Andromeda. È il presente esteso.³⁶ Forse la più grande e strana fra le scoperte di Albert Einstein.

L'idea che esista un *adesso* ben definito ovunque nell'universo è quindi un'illusione, un'estrapolazione illegittima della nostra esperienza.³⁷ È come il punto dove l'arcobaleno tocca la foresta: ci sembra di intravederlo, ma se andiamo a guardare non c'è.

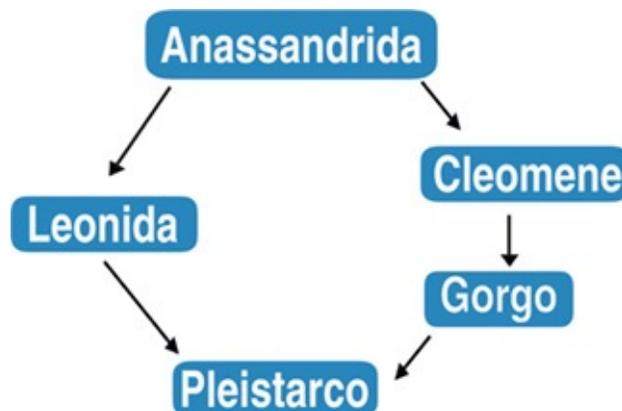
Se nello spazio interplanetario chiedo: questi due sassi sono «alla stessa altezza»? La risposta giusta è: «È una domanda senza senso, perché non c'è un'unica nozione di "stessa altezza" nell'universo». Se chiedo: questi due eventi, uno sulla Terra e uno su *Proxima b*, avvengono «nello stesso momento»? La risposta giusta è: «È una domanda senza senso, perché non c'è "uno stesso momento" definito nell'universo».

Il «presente dell'universo» non significa nulla.

La struttura temporale senza il presente

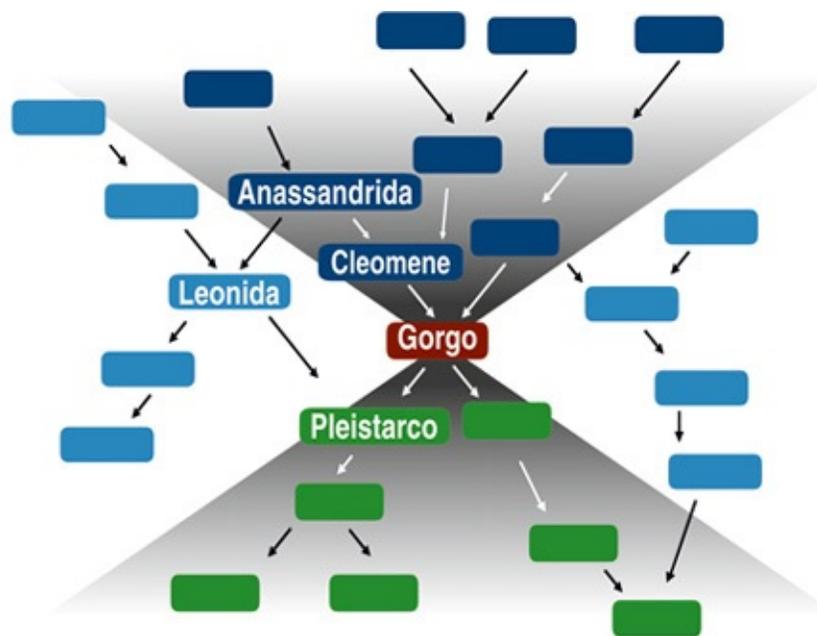
Gorgo è la donna che ha salvato la Grecia comprendendo che

una tavoletta cerata inviata dalla Persia da un greco conteneva un messaggio segreto celato *sotto* la cera; messaggio che preavvisava i greci dell'attacco persiano. Gorgo ha avuto un figlio, Pleistarco, da Leonida, re di Sparta, l'eroe delle Termopili, che era suo zio: fratello di suo padre Cleomene. Chi appartiene alla «stessa generazione» di Leonida? Gorgo, che è la madre di suo figlio, o Cleomene, che è figlio dello stesso padre? Qui sotto uno schemino per chi come me ha difficoltà con le parentele.



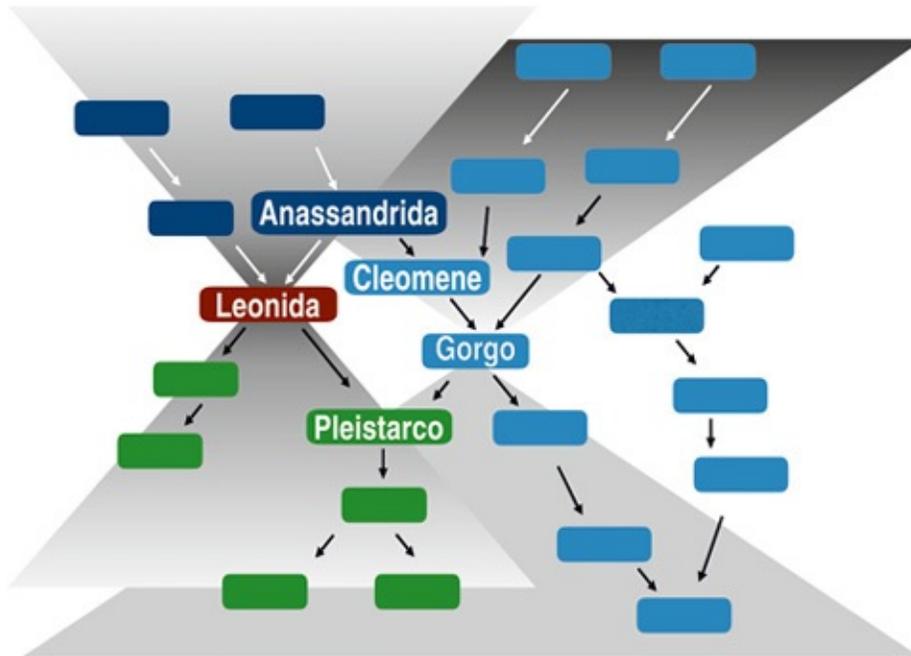
C'è un'analogia fra le generazioni e la struttura temporale del mondo messa in luce dalla relatività: non ha senso chiedersi se sia Cleomene oppure Gorgo a essere «della stessa generazione» di Leonida, perché non esiste una nozione univoca³⁸ di «stessa generazione». Se diciamo che Leonida e suo fratello sono «della stessa generazione» perché hanno lo stesso padre, e Leonida e sua moglie sono «della stessa generazione» perché hanno lo stesso figlio, dobbiamo poi dire che questa «stessa generazione» comprende tanto Gorgo che suo padre! La relazione di figliolanza stabilisce un ordine fra gli esseri umani (Leonida, Gorgo e Cleomene vengono tutti *dopo* Anassandrida e *prima* di Pleistarco...), ma non fra *tutti* gli esseri umani: Leonida e Gorgo non sono né prima né dopo l'uno rispetto all'altro.

I matematici chiamano «ordine parziale» l'ordine stabilito dalla relazione di filiazione. Un ordine parziale stabilisce una relazione di *prima* e *dopo* fra alcuni elementi, ma non tutti. Gli esseri umani formano un insieme «parzialmente ordinato» (non «completamente ordinato») dalla relazione di figliolanza. La figliolanza stabilisce un ordine (*prima* dei discendenti, *dopo* gli ascendenti), ma non fra tutti. Per vedere com'è fatto questo ordine, basta pensare a un albero genealogico, come questo di Gorgo:



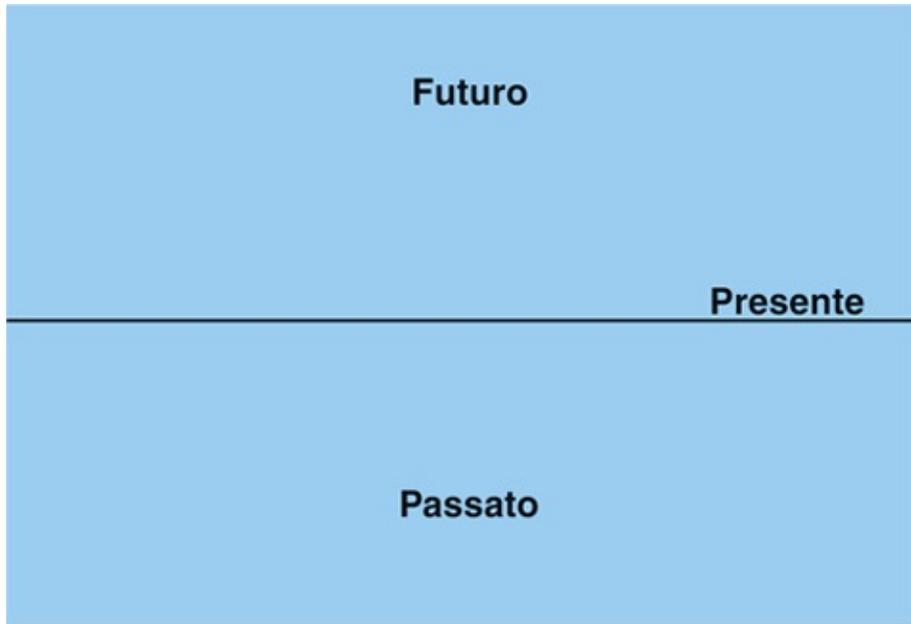
C'è un cono «passato» che comprende i suoi antenati, e un cono «futuro» che comprende i suoi discendenti. Fuori dai coni restano coloro che non sono né antenati né discendenti.

Ogni essere umano ha il suo proprio cono passato di antenati e cono futuro di discendenti. Quelli di Leonida sono disegnati qui sotto, accanto a quelli di Gorgo.

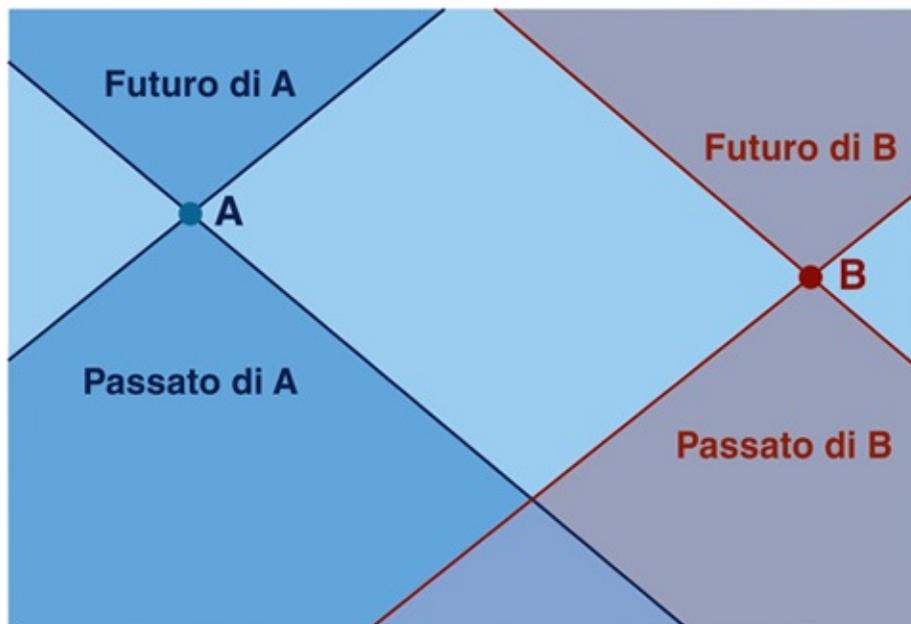


La struttura temporale dell'universo è molto simile. Anch'essa è fatta a coni. La relazione di «precedere temporalmente» è una relazione di ordine parziale fatta a coni.³⁹ La relatività speciale è la scoperta che la struttura temporale dell'universo è come le parentele: definisce un ordine fra gli eventi dell'universo che è *parziale* e non *completo*. Il presente esteso è l'insieme degli eventi che non sono né passati né futuri: c'è, come ci sono esseri umani che non sono né nostri discendenti né nostri antecedenti.

Se vogliamo rappresentare tutti gli eventi dell'universo e le loro relazioni temporali, non possiamo più farlo con un'unica universale distinzione fra passato, presente e futuro, così:



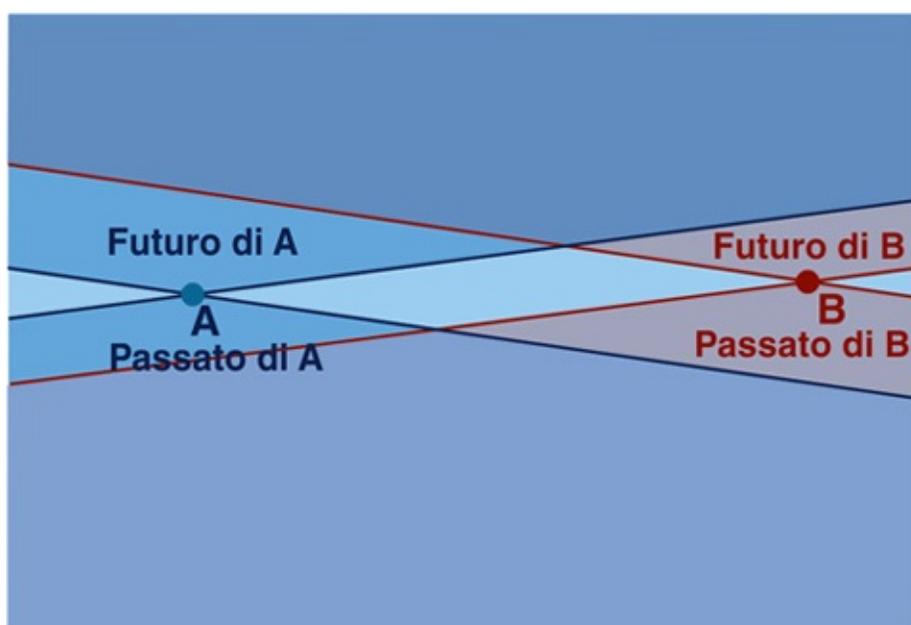
dobbiamo invece farlo mettendo sopra e sotto ogni evento il cono dei suoi eventi futuri e passati:



(I fisici hanno l'abitudine - non so perché - di disegnare il

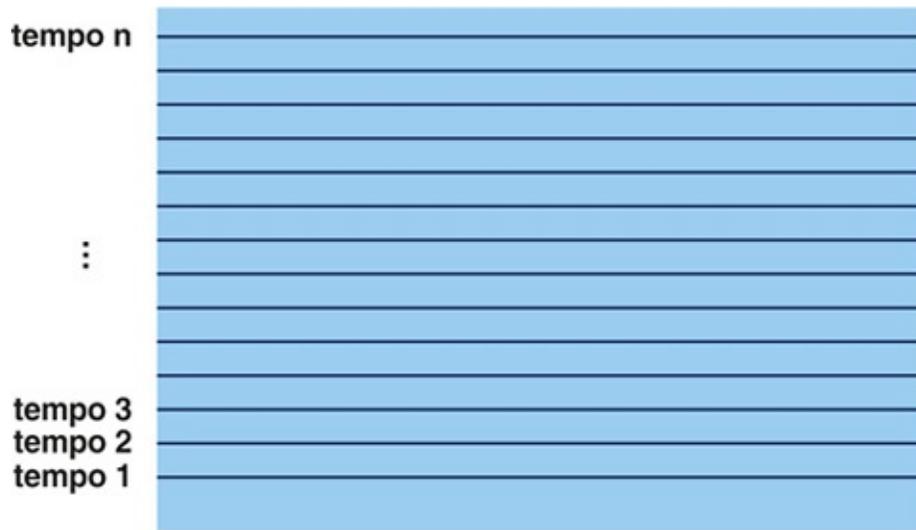
futuro in alto e il passato in basso, il contrario degli alberi genealogici). Ogni evento ha il suo passato, il suo futuro, e una parte di universo né passata né futura, così come ogni essere umano ha antecedenti, discendenti, e altri che non sono né antecedenti né discendenti.

La luce viaggia lungo le linee oblique che delimitano questi coni. Per questo i coni si chiamano «coni luce». È d'uso disegnare queste linee oblique a 45 gradi, come nell'ultimo disegno, ma sarebbe più realistico disegnarle molto più orizzontali, così:

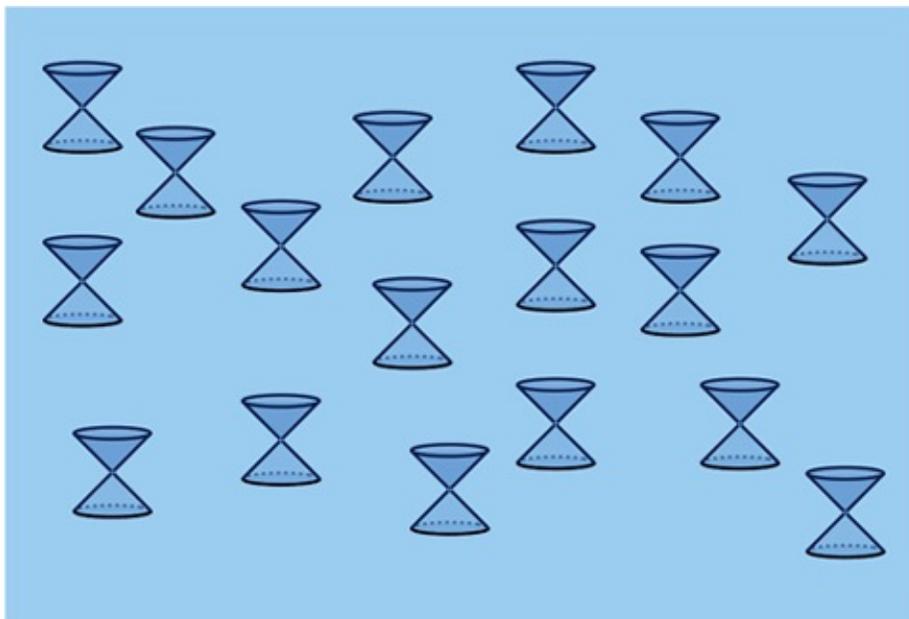


perché, alle scale a cui siamo abituati, il presente esteso, che separa il nostro passato dal nostro futuro, è molto breve (nanosecondi) e quasi impercettibile, per cui si «schiaccia» in una sottile banda orizzontale, che è ciò che noi di solito chiamiamo «presente», senza qualificazione.

In breve: un presente comune non esiste; la struttura temporale dello spaziotempo non è una stratificazione di tempi così:



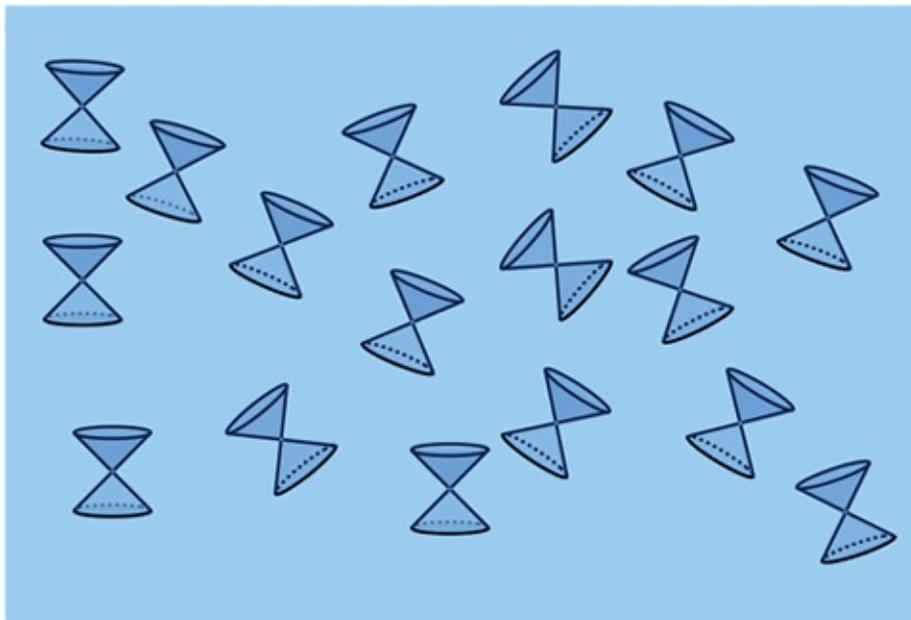
ma piuttosto è la struttura formata dall'insieme di tutti i coni luce:



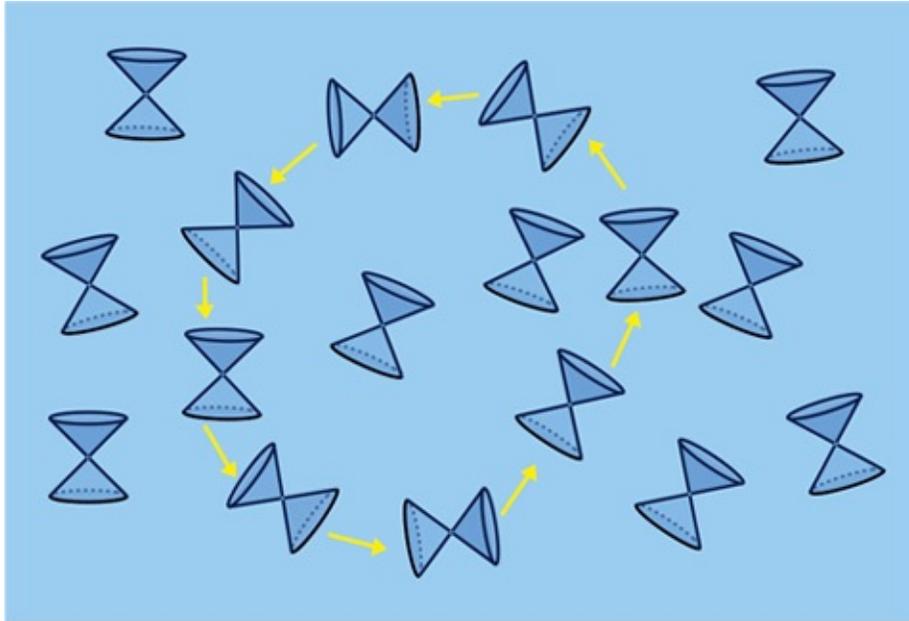
Questa è la struttura dello spaziotempo che Einstein ha capito

a venticinque anni.

Dieci anni dopo capisce che la velocità a cui scorre il tempo cambia di luogo in luogo. Ne segue che il disegno dello spaziotempo non è in realtà così ordinato come sopra, ma può essere deformato. È piuttosto così:

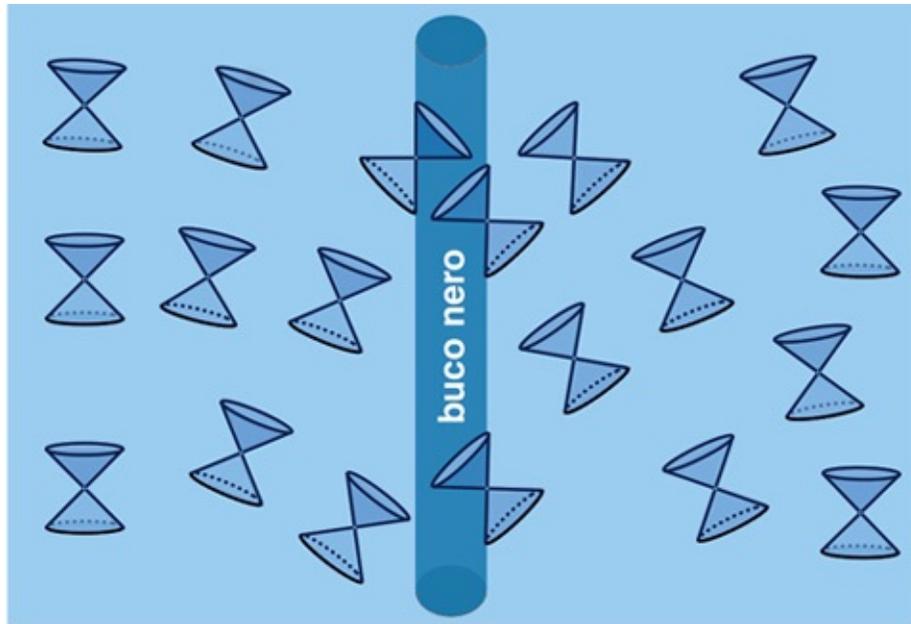


Quando passa un'onda gravitazionale, per esempio, i piccoli coni luce oscillano tutti insieme a destra e sinistra come spighe di grano quando c'è vento. La struttura dei coni può arrivare a far sì che, andando sempre verso il futuro, si ritorni allo stesso punto dello spaziotempo, così:

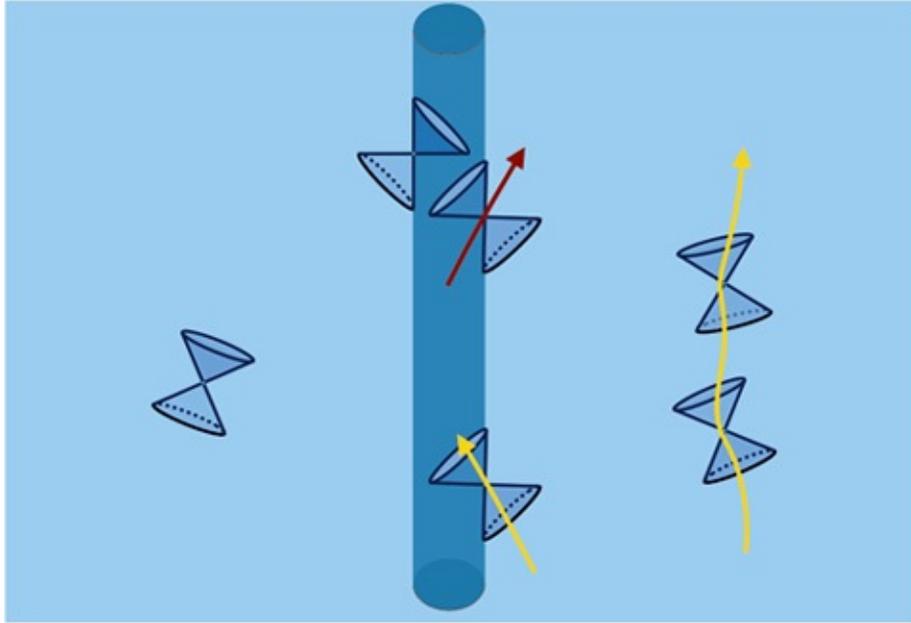


in modo che un percorso continuo verso il futuro ritorni all'evento di partenza.^{40 41} Il primo a rendersene conto è stato Kurt Gödel, il grande logico del XX secolo e ultimo amico di Einstein - passeggiavano insieme in tarda età per i vialetti di Princeton.

Nelle vicinanze di un buco nero i coni luce si inclinano tutti verso il buco, così:⁴²



perché la massa del buco nero rallenta a tal punto il tempo che sul bordo (si chiama «orizzonte») il tempo si ferma. Se guardate bene, la superficie del buco nero è parallela ai bordi dei coni. Quindi per uscire da un buco nero bisognerebbe muoversi (come nella traiettoria rossa della figura che segue) verso il presente invece che verso il futuro!



Il che è impossibile. Gli oggetti si muovono solo verso il futuro, come nelle traiettorie gialle della figura. Questo è un buco nero: un inclinarsi verso l'interno dei coni luce, che disegna un orizzonte: chiude una regione di spazio nel futuro di tutto ciò che le sta intorno. Null'altro che questo. È la curiosa struttura locale del presente che produce i buchi neri.

Sono più di cent'anni che abbiamo imparato che il «presente dell'universo» non esiste. Eppure questo ancora ci confonde, ci sembra difficile da intuire. Qualche fisico ogni tanto si ribella, e prova a dire che non è vero.⁴³ I filosofi continuano a discutere la sparizione del presente. Sono oggi numerose le conferenze su questo tema.

Se il presente non significa nulla, cosa «esiste» nell'universo? Quello che «esiste» non è quello che c'è «nel presente»? L'intera idea che l'universo esista *adesso* in una certa configurazione, e cambi tutto insieme con il passare del tempo, non funziona più.

[28.](#) Relatività generale (A. Einstein, *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, cit.).

[29.](#) Relatività speciale o ristretta (A. Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, «Annalen der Physik», 17, 1905, pp. 891-921).

[30.](#) J.C. Hafele e R.E. Keating, *Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains*, «Science», 177, 1972, pp. 168-70.

[31.](#) Che dipende sia da t che dalla tua velocità e posizione.

[32.](#) Poincaré. Lorentz aveva cercato di dare un'interpretazione fisica a t' , ma in modo alquanto involuto.

[33.](#) Einstein ha spesso sostenuto che gli esperimenti di Michelson e Morrison non sono stati importanti per permettergli di arrivare alla relatività speciale. Credo sia vero, e che questo rifletta un punto importante per la filosofia della scienza. Non sempre per fare passi avanti nella comprensione del mondo sono necessari *nuovi* dati sperimentali. Copernico non aveva più dati osservativi di Tolomeo: ha saputo leggere l'eliocentrismo dentro i dettagli dei dati di Tolomeo, interpretandoli meglio, come Einstein ha fatto con Maxwell.

[34.](#) «In moto» rispetto a cosa? Come si fa a determinare quale di due oggetti si muove, se il moto è solo relativo? Questo è un punto che confonde molti. La risposta corretta (data raramente) è: in moto rispetto all'*unico* riferimento in cui il punto spaziale dove i due orologi si separano è lo stesso punto spaziale dove si rincontrano. C'è una sola linea dritta fra due eventi A e B nello spaziotempo: è quella lungo la quale il tempo è massimo, e la velocità *rispetto a questa linea* è quella che

rallenta il tempo, nel senso seguente. Se i due orologi si separano e non si incontrano più, non ha senso chiedersi quale sia in anticipo e quale sia in ritardo. Se si incontrano, si possono confrontare, e la velocità di ciascuno diventa una nozione ben definita.

[35](#). Se vedo nel telescopio mia sorella che festeggia il 20° compleanno e le mando un messaggio radio che le arriverà al suo 28° compleanno, posso dire che *adesso* è il suo 24° compleanno: metà fra quando la luce è partita da là (20) e quando poi le ritorna (28). Bella idea (non è mia: è la definizione di «simultaneità» di Einstein). Ma non definisce un tempo comune. Se *Proxima b* si sta allontanando, e mia sorella usa la stessa logica per calcolare il momento simultaneo al suo 24° compleanno, *non* ottiene il momento presente qui. In altre parole, con questo modo di definire la simultaneità, se per me un momento A della sua vita è simultaneo a un momento B della mia, non è vero il contrario: per lei A e B non sono simultanei. Le nostre diverse velocità definiscono diverse superfici di simultaneità. Neanche così si ha quindi una nozione comune di «presente».

[36](#). L'insieme degli eventi che sono a distanza di tipo spazio da qui.

[37](#). Tra i primi a rendersene conto è stato Kurt Gödel (*An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation*, «Reviews of Modern Physics», 21, 1949, pp. 447-50). Per usare le sue parole: «La nozione di "adesso" non è al più che una certa relazione di un certo osservatore con il resto dell'universo».

[38](#). Transitiva.

[39](#). Anche l'esistenza di una relazione di ordine parziale potrebbe essere una struttura troppo forte rispetto alla realtà, se esistono curve temporali chiuse. Si veda in proposito, per esempio, M. Lachièze-Rey, *Voyager dans le temps. La physique*

moderne et la temporalité, Éditions du Seuil, Paris, 2013.

[40](#). Le «linee temporali chiuse», dove il futuro riporta al passato, sono quelle che spaventano chi pensa che un figlio potrebbe andare ad ammazzare la madre prima della propria nascita. Ma non c'è nessuna contraddizione logica nell'esistenza di linee temporali chiuse o di viaggi nel passato; siamo noi che complichiamo le cose con le nostre confuse fantasie sulla libertà del futuro.

[41](#). Il fatto che non ci sia nulla di logicamente impossibile nei viaggi nel passato è mostrato con chiarezza in un simpatico articolo di uno dei grandi filosofi del secolo scorso: David Lewis (*The Paradoxes of Time Travel*, «American Philosophical Quarterly», 13, 1976, pp. 145-52; rist. in *The Philosophy of Time*, a cura di R. Le Poidevin e M. MacBeath, Oxford University Press, Oxford, 1993).

[42](#). Questa è la rappresentazione della struttura causale di una metrica di Schwarzschild in coordinate di Finkelstein.

[43](#). Fra le voci che dissentono ci sono due grandi scienziati per i quali ho particolare amicizia, affetto e stima: Lee Smolin (*Time Reborn*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston, 2013; trad. it. *La rinascita del tempo*, Einaudi, Torino, 2014) e George Ellis (*On the Flow of Time*, FQXi Essay, 2008, <https://arxiv.org/abs/0812.0240>; *The Evolving Block Universe and the Meshing Together of Times*, «Annals of the New York Academy of Sciences», 1326, 2014, pp. 26-41; *How Can Physics Underlie the Mind?*, Springer, Berlin, 2016). Entrambi insistono che debba esistere un tempo privilegiato e un presente reale, anche se questi non vengono colti dalla fisica attuale. La scienza è come gli affetti: le persone più care sono quelle con cui discutiamo più vivacemente. Un'articolata difesa dell'aspetto fondamentale della realtà del tempo è in R.M. Unger e L. Smolin, *The Singular Universe and the Reality of Time* (Cambridge University Press, Cambridge, 2015). Un altro caro amico che difende l'idea del fluire reale di un tempo unico

è Samy Maroun; con lui ho esplorato la possibilità di riscrivere la fisica relativistica distinguendo il tempo che guida il ritmo dei processi (il tempo «metabolico») da un «vero» tempo universale (S. Maroun e C. Rovelli, *Universal Time and Spacetime «Metabolism»*, 2015, <http://smc-quantum-physics.com/pdf/version3English.pdf>). Questo è possibile, e dunque il punto di vista di Smolin, Ellis e Maroun è difendibile. Ma è fertile? L'alternativa è tra forzare la descrizione del mondo perché si adegui alle nostre intuizioni, oppure imparare ad adattare le nostre intuizioni a quello che abbiamo scoperto del mondo. Ho pochi dubbi sul fatto che la seconda strategia sia quella fertile.

LA PERDITA DELL'INDIPENDENZA

E quell'onda
navigheremo tutti
quanti ci nutriamo
dei frutti della terra (II, 14)

Cosa succede quando non succede niente?

Bastano pochi microgrammi di LSD perché la nostra esperienza del tempo si dilati in modo epico e magico.⁴⁴ «Per quanto tempo è per sempre?» chiede Alice; «A volte, solo un secondo» risponde il Coniglio Bianco. Ci sono sogni che durano attimi dove tutto sembra raggelato per un'eternità.⁴⁵ Nella nostra esperienza personale il tempo è elastico. Ore volano come minuti e minuti opprimono lenti come fossero secoli. Da un lato il tempo è strutturato dalla liturgia: Pasqua segue Quaresima e Quaresima segue Natale; il Ramadān si apre con Hilāl, il Ramadān si chiude con 'Īd al-Fitr. Dall'altro ogni esperienza mistica, come il momento sacro in cui l'ostia è consacrata, getta il fedele fuori dal tempo, a contatto con l'eternità. Prima che Einstein ci dicesse che non era vero, come diavolo ci era venuto in mente che il tempo dovesse passare ovunque alla stessa velocità? Non è certo la nostra diretta *esperienza* della durata ad averci dato l'idea che il tempo scorra eguale sempre e ovunque. Dove l'abbiamo imparata?

Da secoli, *dividiamo* il tempo in giorni. La parola «tempo» deriva da una radice indoeuropea, *di* o *dai*, che indica «dividere». Da secoli, dividiamo il giorno in ore.⁴⁶ Per la maggior parte di questi secoli, però, le ore erano più lunghe

d'estate e più corte d'inverno, perché le 12 ore scandivano il tempo fra alba e tramonto: l'ora sesta era l'alba, indipendentemente dalla stagione, come si legge nella parabola del vignaiolo del *Vangelo secondo Matteo*.⁴⁷ Siccome (diciamo oggi) d'estate passa «più tempo» fra l'alba e il tramonto che non d'inverno, d'estate le ore erano lunghe, d'inverno corte...

Meridiane, clessidre e orologi ad acqua esistevano già nel mondo antico attorno al Mediterraneo e in Cina, ma non giocavano il ruolo che giocano oggi gli orologi nell'organizzazione della nostra vita. È solo verso il XIII secolo che in Europa la vita della gente comincia a essere regolata da orologi meccanici. Città e villaggi costruiscono la loro chiesa, accanto alla chiesa il campanile, e sul campanile un orologio che dà il ritmo alle funzioni collettive. Inizia l'era del tempo regolato dagli orologi.

Pian piano, il tempo scivola dalla mano degli angeli a quella dei matematici: lo mostra bene la cattedrale di Strasburgo, dove due meridiane costruite a distanza di pochi secoli sono sorrette rispettivamente da un angelo (la meridiana del 1200) e da un matematico (la meridiana della fine del 1400).



L'utilità degli orologi è indicare tutti la stessa ora. Ma anche quest'idea è più moderna di quanto possiamo immaginare. Per secoli, finché si viaggiava a cavallo, a piedi o in carrozza, non c'era motivo di sincronizzare orologi da un luogo all'altro. C'era un ottimo motivo per *non* farlo: mezzodì è per definizione quando il sole è più alto nel cielo. Ogni città o villaggio aveva una meridiana che accertava il momento in cui il sole era al mezzodì e permetteva di regolare l'orologio del campanile, che tutti potevano vedere. Il sole non arriva al mezzodì nello stesso momento a Lecce, Venezia, Firenze o Torino, perché il sole va da est verso ovest. Mezzodì arriva prima a Venezia e assai più tardi a Torino, e gli orologi di Venezia sono stati per secoli una buona mezz'ora in anticipo su quelli di Torino. Ogni paesello aveva la sua «ora» peculiare. La stazione di Parigi manteneva una propria ora un po' in ritardo sul resto della città per cortesia verso i viaggiatori.⁴⁹

Nel XIX secolo arriva il telegrafo, i treni diventano comuni e veloci, e il problema di sincronizzare bene gli orologi da una città all'altra si fa importante. È scomodo organizzare orari ferroviari se ogni stazione ha un'ora diversa dalle altre. Gli Stati Uniti sono il primo paese a cercare di standardizzare l'ora. La proposta iniziale è fissare un'ora universale per tutto il mondo. Chiamare per esempio «ore 12» il momento in cui è mezzodì a Londra, sicché il mezzodì cascherebbe alle 12:00 a Londra, e circa alle 18:00 a New York. La proposta non piace, perché la gente è attaccata alle ore locali. Il compromesso è raggiunto nel 1883, con l'idea di dividere il mondo in fusi «orari» e standardizzare l'ora solo all'interno di ciascun fuso. In questo modo la discrepanza fra le 12 dell'orologio e il mezzodì locale resta contenuta al massimo intorno ai 30 minuti. La proposta viene accettata pian piano nel resto del mondo, e si cominciano a sincronizzare gli orologi fra città diverse.⁵⁰

Non può essere un caso che il giovane Einstein, prima di avere un posto all'università, lavorasse all'Ufficio Brevetti svizzero e si occupasse, tra l'altro, proprio di brevetti per sincronizzare gli orologi fra stazioni ferroviarie! Probabilmente è lì che gli è

venuta in mente l'idea che sincronizzare gli orologi potesse essere, in fin dei conti, un problema insolubile.

In altre parole, sono passati solo pochi anni tra il momento in cui gli uomini si sono messi d'accordo per sincronizzare gli orologi e il momento in cui Einstein si è accorto che non è possibile farlo esattamente.

Prima degli orologi, per millenni, l'unica misura regolare del tempo per l'umanità era stata l'alternarsi del giorno e della notte. Il ritmo di giorno e notte scandisce anche la vita di animali e piante. Ritmi diurni sono ubiqui nel mondo vivente. Sono essenziali per la vita, e a me sembra probabile che abbiano svolto un ruolo chiave anche per l'origine stessa della vita sulla Terra: serve un'oscillazione per mettere in moto un meccanismo. Gli organismi viventi sono pieni di orologi, di diversi tipi: molecolari, neuronali, chimici, ormonali, più o meno accordati fra loro.⁵¹ Ci sono meccanismi chimici che battono il ritmo di 24 ore fin nella biochimica elementare delle singole cellule.

Il ritmo diurno è una sorgente elementare della nostra idea di tempo: alla notte segue il giorno, al giorno segue la notte. Contiamo il battito di questo grande orologio, contiamo i giorni. Nella consapevolezza antica dell'umanità, il tempo è innanzitutto il conto dei giorni.

Oltre ai giorni si sono poi contati gli anni e le stagioni, i cicli della luna, le oscillazioni di un pendolo, il numero di volte che si gira una clessidra. Questo è il modo in cui abbiamo tradizionalmente pensato il tempo: contare come le cose cambiano.

Aristotele è il primo di cui abbiamo conoscenza che si è posto il problema di cosa sia il tempo, ed è arrivato a questa conclusione: il tempo è la misura del cambiamento. Le cose cambiano in continuazione: chiamiamo «tempo» la misura, la contabilità di questo cambiare.

L'idea di Aristotele è solida: il tempo è ciò a cui ci riferiamo

quando chiediamo «quando?». «Fra quanto *tempo* tornerai?» significa «quando tornerai?». La risposta alla domanda «quando?» fa riferimento a qualcosa che accade. «Tornerò fra tre giorni» vuol dire che fra partenza e ritorno il sole avrà fatto tre giri nel cielo. Semplice.

Ma allora, se nulla cambia, se nulla si muove, il tempo non passa?

Aristotele pensava fosse così. Se nulla cambia, il tempo non passa, perché il tempo è il nostro modo per localizzarci rispetto al cambiare delle cose: il nostro situarci rispetto al conto dei giorni. Il tempo è la misura del cambiamento:⁵² se nulla cambia, non c'è tempo.

E il tempo che ascolto scorrere nel silenzio? «Se è buio e noi non subiamo alcuna affezione corporea,» scrive Aristotele nella *Fisica* «un certo movimento resta comunque presente nell'anima, e subito ci sembra che simultaneamente anche un certo tempo stia trascorrendo».⁵³ In altri termini, anche il tempo che percepiamo scorrere dentro di noi è misura di un movimento: un movimento interno a noi... Se nulla si muove, non c'è tempo, perché il tempo è solo la traccia del movimento.

Newton, invece, assume esattamente il contrario.

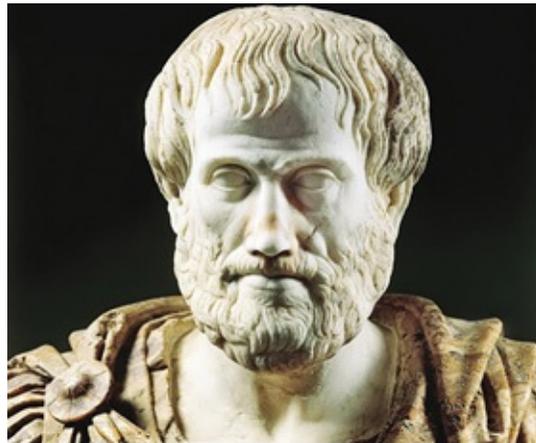
Scriva nei *Principia*, la sua opera maggiore: «Non definisco il tempo ... in quanto notissimo a tutti. Va osservato tuttavia come comunemente non si concepisca questa quantità che in relazione a cose sensibili. Di qui nascono i vari pregiudizi, per eliminare i quali conviene distinguere il tempo *relativo, apparente e banale* da quello *assoluto, vero e matematico*. Il tempo relativo, apparente e banale è una misura sensibile ed esterna della durata per mezzo del moto, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l'ora, il giorno, il mese, l'anno. Il tempo assoluto, vero, matematico, in sé e per sua natura scorre uniformemente senza relazione ad alcunché di esterno».⁵⁴

In altre parole, Newton riconosce che esiste il «tempo» che

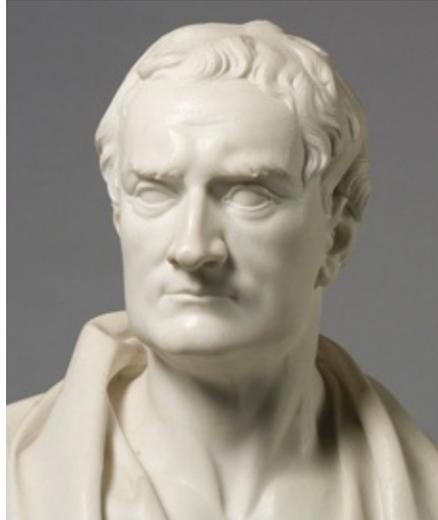
misura i giorni e i movimenti, quello di Aristotele (relativo, apparente e banale). Ma dichiara che oltre a questo deve esistere anche un *altro* tempo. Il tempo «vero»: che passa *comunque*, ed è indipendente dalle cose e dal loro accadere. Se tutte le cose si fermassero immote, e anche i moti della nostra anima si arrestassero gelati, questo tempo, afferma Newton, continuerebbe a scorrere, imperturbabile e eguale a se stesso: il tempo «vero». È il contrario di quanto scrive Aristotele.

Il tempo «vero», dice Newton, non è accessibile direttamente, ma solo indirettamente, con il calcolo. Non è quello dato dai giorni, perché «i giorni naturali in realtà non hanno la stessa durata, sebbene siano comunemente considerati eguali, e gli astronomi devono correggere questa variabilità usando accurate deduzioni a partire dai moti celesti».⁵⁵

Chi ha ragione? Aristotele o Newton? Due fra i più acuti e profondi indagatori della natura che l'umanità abbia mai avuto ci suggeriscono due modi opposti di pensare il tempo. Due giganti ci tirano in direzione opposta.⁵⁶



Aristotele: Il tempo è solo misura del cambiamento.⁵⁷



Newton: C'è un tempo che scorre anche quando nulla cambia.

58

Il tempo è solo un modo per misurare come cambiano le cose, come vuole Aristotele; oppure dobbiamo pensare che esista un tempo assoluto che scorre di per sé, indipendentemente dalle cose? La domanda giusta è: quale di questi due modi di pensare il tempo ci aiuta meglio a comprendere il mondo? Quale dei due schemi concettuali è più efficace?

Per qualche secolo la ragione sembra pendere dal lato di Newton. Lo schema di Newton, basato sull'idea di tempo indipendente dalle cose, ha permesso la costruzione della fisica moderna, che funziona maledettamente bene. E assume l'esistenza del tempo come entità che scorre uniforme e imperturbabile. Newton scrive equazioni che descrivono come si muovono le cose *nel tempo*: contengono la lettera t , il tempo.⁵⁹ Cosa indica questa lettera? Indica il tempo t scandito dalle ore più lunghe d'estate e più corte d'inverno? No, ovviamente. Indica il tempo «assoluto, vero e matematico», che Newton assume scorrere *indipendentemente da cosa cambia o cosa si muove*.

Gli orologi per Newton sono apparecchi che cercano, anche se in maniera sempre imprecisa, di seguire questo scorrere eguale e uniforme del tempo. Newton scrive che questo tempo

«assoluto, vero e matematico» non è percepibile. Lo si deve dedurre, con calcolo e attenzione, dalla regolarità dei fenomeni. Il tempo di Newton non è un'evidenza dei nostri sensi: è un'elegante costruzione intellettuale. Se, mio colto lettore, l'esistenza di questo tempo Newtoniano, indipendente dalle cose, ti sembra semplice e naturale, è perché lo hai incontrato a scuola. Perché è diventato un po' alla volta il modo di pensare di tutti noi. È filtrato dai libri alle scuole di tutto il mondo, per divenire il modo comune di pensare il tempo. Ne abbiamo fatto la nostra intuizione. Ma l'esistenza di un tempo uniforme, indipendente dalle cose e dal loro moto, che *oggi* ci può sembrare naturale, non è intuizione antica e naturale per l'umanità. È un'idea di Newton.

La maggior parte dei filosofi, infatti, ha reagito male a quest'idea: è rimasta celebre la furiosa reazione di Leibniz a difesa della tesi tradizionale secondo cui il tempo è solo un ordine di accadimenti, e non esiste come entità autonoma. Una leggenda vuole che Leibniz, il cui nome si trova ancora scritto talvolta con una «t» (Leibnitz), abbia di proposito tolto la «t» al suo nome, a testimonianza della sua fede nella *non* esistenza di *t*, il tempo.⁶⁰

Fino a Newton, per l'umanità il tempo era il modo per contare come cambiano le cose. Fino a lui, nessuno aveva pensato che potesse esistere un tempo indipendente dalle cose. Non prendete le vostre intuizioni e idee per «naturali»: sono spesso il prodotto del pensiero di pensatori arditi che ci hanno preceduto.

Ma fra i due giganti, Aristotele e Newton, è davvero Newton ad avere ragione? Cos'è esattamente questo «tempo» che Newton ha introdotto, della cui esistenza ha convinto il mondo intero, che funziona così bene nelle sue equazioni, e che *non* è il tempo percepito?

Per districarsi fra i due giganti, e in una strana maniera metterli d'accordo, è stato necessario un terzo gigante. Prima di arrivare a lui, però, una breve digressione sullo spazio.

Cosa c'è dove non c'è niente?

Le due interpretazioni del tempo (misura del «quando» rispetto ad accadimenti, come vuole Aristotele, oppure entità che scorre anche quando niente accade, come vuole Newton) possono essere ripetute per lo spazio.

Il tempo è ciò di cui parliamo chiedendo «quando?». Lo spazio è ciò di cui parliamo chiedendo «dove?». Se chiedo dov'è il Colosseo, una risposta è «a Roma». Se chiedo «dove sei?», una possibile risposta è «a casa mia». Rispondere a «dove sta qualcosa?» significa indicare cosa c'è *attorno* a quella cosa. Quali altre cose sono *intorno* a quella cosa. Se dico «sono nel Sahara», mi immaginate circondato da distese di dune.

Aristotele è il primo a discutere con attenzione e profondità cosa significa «spazio» o «luogo», e a darne una definizione precisa: il luogo di una cosa è ciò che sta intorno a quella cosa.⁶¹

Come per il tempo, Newton suggerisce di pensare in modo diverso. Chiama «relativo, apparente e banale» lo spazio definito da Aristotele: elencare cosa sta attorno a cosa. Chiama «assoluto, vero e matematico» lo spazio in sé, che esiste anche dove non c'è nulla.

La differenza fra Aristotele e Newton è flagrante. Per Newton, fra due cose può esserci anche «spazio vuoto». Per Aristotele, «spazio vuoto» è un'assurdità, perché lo spazio è solo l'ordine delle cose. Se non ci sono cose, la loro estensione, i loro contatti, non c'è spazio. Newton immagina che le cose siano collocate in uno «spazio» che continua ad esistere, vuoto, anche se leviamo le cose. Per Aristotele lo «spazio vuoto» è un nonsenso, perché se due cose non si toccano vuol dire che fra loro c'è qualcosa d'altro, e se c'è qualcosa, questo qualcosa è una cosa, e quindi qualcosa c'è: non può non esserci «nulla».

Da parte mia, trovo curioso che entrambi questi modi di pensare lo spazio provengano dalla nostra esperienza quotidiana. La differenza esiste a causa di un buffo accidente

del mondo in cui viviamo: l'esilità dell'aria, di cui percepiamo appena appena la presenza. Possiamo dire: vedo un tavolo, una sedia, una penna, il soffitto, e fra me e il tavolo *non c'è niente*. Oppure dire che fra l'una e l'altra di queste cose *c'è aria*. Dell'aria parliamo a volte come se fosse qualcosa, a volte come se fosse niente. A volte come se ci fosse, a volte come se non ci fosse. Diciamo «questo bicchiere è vuoto», per dire che è pieno d'aria. Possiamo quindi pensare al mondo attorno a noi come «quasi vuoto», giusto qualche oggetto sparso qui e là, oppure, in alternativa, come «tutto pieno», di aria. In fondo Aristotele e Newton non fanno profonda metafisica: stanno solo usando questi due diversi modi intuitivi e ingenui di vedere il mondo intorno a noi, tenendo o meno in conto l'aria, e trasformandoli in definizioni dello spazio.

Aristotele, sempre primo della classe, vuole essere preciso: non dice che il bicchiere è vuoto, dice che è pieno d'aria. E nota che nella nostra esperienza non c'è mai un luogo dove «non c'è nulla, neanche l'aria». Newton, che più che alla precisione punta all'efficienza dello schema concettuale da costruire per descrivere il movimento delle cose, pensa agli oggetti, non all'aria. L'aria, tutto sommato, sembra avere poco effetto su un sasso che cade: possiamo immaginare che non ci sia.

Come per il tempo, lo «spazio contenitore» di Newton ci può sembrare naturale, ma è un'idea recente, che si è diffusa per la grande influenza esercitata dal pensiero di Newton. Ciò che oggi ci sembra intuitivo è il risultato dell'elaborazione scientifica e filosofica del passato.

L'idea Newtoniana di «spazio vuoto» sembra trovare conferma quando Torricelli mostra che da una bottiglia si può levare l'aria. Ma presto si scopre che dentro la bottiglia restano comunque molte entità fisiche: campi elettrici e magnetici, e un pullulare continuo di particelle quantistiche. L'esistenza del vuoto completo, senza alcuna entità fisica se non lo spazio amorfo, «assoluto, vero e matematico», rimane una brillante idea teorica introdotta da Newton per fondare la sua fisica, non

un'evidenza sperimentale. Ipotesi geniale, forse intuizione profonda del più grande degli scienziati, ma corrisponde alla realtà delle cose? Esiste davvero lo spazio di Newton? Se esiste, è davvero amorfo? Può esistere un luogo dove non esiste nulla?

La domanda è la gemella dell'analogica domanda sul tempo: esiste il tempo «assoluto, vero e matematico» di Newton, che scorre quando nulla accade? Se esiste, è tutt'altra cosa che le cose del mondo? Così indipendente da esse?

La risposta a tutte queste domande è un'inattesa sintesi dei pensieri apparentemente opposti dei due giganti. A compierla serviva che nella danza entrasse un terzo gigante.⁶²

La danza di tre giganti

La sintesi fra il tempo di Aristotele e quello di Newton è il gioiello dei pensieri di Einstein.

La risposta è che, sì, il tempo e lo spazio che Newton ha intuito esistere nel mondo al di là della materia tangibile effettivamente *esistono*. Sono reali. Tempo e spazio sono cose reali. Però non sono per nulla assoluti, per nulla indipendenti da quanto accade, per nulla distinti dalle altre sostanze del mondo come Newton immaginava. Possiamo pensare che ci sia la grande tela Newtoniana su cui è disegnata la storia del mondo. Ma questa tela è fatta della stessa sostanza di cui sono fatte le altre cose del mondo, della stessa sostanza di cui sono fatte la pietra, la luce e l'aria.

I fisici chiamavano «campi» le sostanze che costituiscono, al meglio di quanto sappiamo oggi, la trama della realtà fisica del mondo. Hanno talvolta nomi esotici: i campi «di Dirac» sono il tessuto di cui sono fatti tavoli e stelle. Il campo «elettromagnetico» è la trama di cui è fatta la luce e insieme l'origine delle forze che fanno girare motori elettrici e ruotano l'ago della bussola verso il Nord. Ma c'è anche il campo «gravitazionale»: è l'origine della forza di gravità, ma è anche

la trama che tesse lo spazio e il tempo di Newton, sulla quale è disegnato il resto del mondo. Gli orologi sono meccanismi che ne misurano l'estensione. I metri per misurare sono porzioni di materia che misurano un altro aspetto della sua estensione.

Lo spaziotempo è il campo gravitazionale (e viceversa). È qualcosa che esiste di per sé, come ha intuito Newton, anche senza materia. Ma non è un'entità diversa dal resto delle cose del mondo - come pensava Newton -, è un campo come gli altri. Più che un disegno su una tela, il mondo è una sovrapposizione di tele, di strati, di cui il campo gravitazionale è solo uno fra gli altri. Come gli altri, non è né assoluto, né uniforme, né fisso, ma si flette, si stira, si tira e si spinge con gli altri. Equazioni descrivono il reciproco influire di tutti i campi gli uni sugli altri, e lo spaziotempo è uno dei campi.⁶³

Il campo gravitazionale può anche essere liscio e piano come una superficie dritta, e questo è quello che Newton ha descritto. Se lo misuriamo con un metro, troviamo allora la geometria di Euclide, quella che studiamo a scuola da ragazzi. Ma il campo può anche ondulare, e queste sono le onde gravitazionali. Può concentrarsi e rarefarsi.

Ricordate gli orologi che rallentano vicino alle masse, nel capitolo 1? Rallentano perché lì c'è, in un senso preciso, «meno» campo gravitazionale. Lì c'è meno tempo.

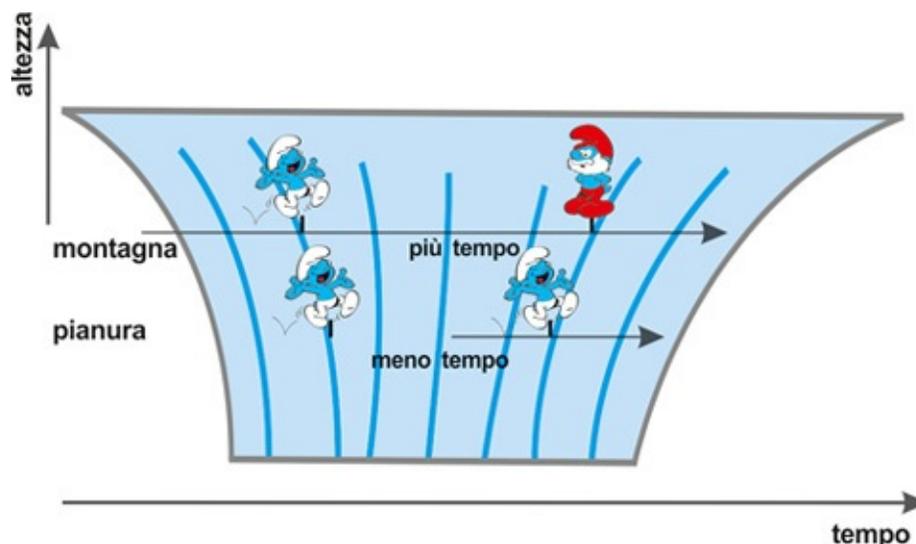
La tela formata dal campo gravitazionale è come un grande foglio elastico che si può allungare e tirare. Il suo stirarsi e curvarsi è l'origine della forza di gravità, il cadere delle cose, e la descrive meglio della vecchia teoria della gravitazione di Newton.

Ripensate alla figura del capitolo 1 che illustrava come passi più tempo in alto che in basso, ma immaginate che il foglio di carta dove è disegnata la figura sia elastico; pensate di tirarlo in modo che il tempo più lungo in montagna diventi effettivamente più lungo. Otterrete qualcosa come l'immagine qui accanto, che rappresenta lo spazio (l'altezza, in verticale) e il tempo (in orizzontale): ma adesso il tempo «più lungo» in

montagna corrisponde effettivamente a una lunghezza maggiore.

Questa immagine illustra quello che i fisici chiamano spaziotempo «curvo». Curvo perché è distorto: le distanze sono stirate e contratte come il foglio elastico tirato. Per questo i coni luce si inclinano nei disegni dell'ultimo capitolo.

Il tempo diventa quindi parte di una complicata geometria tessuta insieme alla geometria dello spazio. Questa è la sintesi che Einstein trova fra l'idea del tempo di Aristotele e quella di Newton. Con un colpo d'ala immenso, Einstein comprende che Aristotele e Newton hanno ragione *entrambi*. Newton ha ragione nell'intuire che esiste qualcos'altro oltre alle semplici cose che vediamo muoversi e cambiare. Il tempo vero e matematico di Newton esiste, è entità reale: è il campo gravitazionale, il foglio elastico, lo spaziotempo curvo della figura. Ma sbaglia nell'assumere che questo tempo sia indipendente dalle cose e scorra regolare, imperturbabile, indipendente da tutto.



Aristotele ha ragione a dire che «quando» e «dove» sono sempre solo il localizzarsi rispetto a qualcosa. Ma questo

qualcosa può essere anche soltanto il campo, lo spaziotempo-entità di Einstein. Perché questa è un'entità dinamica e concreta, come tutte quelle rispetto alle quali Aristotele, giustamente, osservava che noi ci possiamo localizzare.

Tutto questo è perfettamente coerente, e le equazioni di Einstein che descrivono lo storcersi del campo gravitazionale e i suoi effetti su orologi e metri sono state ripetutamente verificate per un secolo. Ma la nostra idea di tempo ha perso un altro pezzo: la sua indipendenza dal resto del mondo.

La danza a tre di questi giganti del pensiero - Aristotele, Newton e Einstein - ci ha condotto a una comprensione più profonda del tempo e dello spazio: esiste una struttura della realtà che è il campo gravitazionale; non è separata dal resto della fisica, non è il palco su cui scorre il mondo: è una componente dinamica della grande danza del mondo, simile a tutte le altre; interagendo con le altre, determina il ritmo di quelle cose che chiamiamo metri e orologi e il ritmo di tutti i fenomeni fisici.

Sempre breve, però, è il successo. Einstein scrive le equazioni del campo gravitazionale nel 1915, e lui stesso, neanche un anno dopo, nel 1916, osserva che questa non può essere l'ultima parola sulla natura dello spazio e del tempo: perché esiste la meccanica quantistica. Il campo gravitazionale, come tutte le cose fisiche, deve avere proprietà quantistiche.

[44.](#) R.A. Sewell *et al.*, *Acute Effects of THC on Time Perception in Frequent and Infrequent Cannabis Users*, «Psychopharmacology», 226, 2013, pp. 401-13; l'esperienza diretta è strabiliante.

[45.](#) V. Arstila, *Time Slows Down during Accidents*, «Frontiers in Psychology», 3, 196, 2012.

[46.](#) Nelle nostre culture. Ce ne sono altre con un senso del tempo profondamente diverso dal nostro: D.L. Everett, *Don't Sleep, There Are Snakes*, Pantheon, New York, 2008.

[47.](#) *Mt*, 20, 1-16.

[48.](#) Johannes Lichtenberger, scultura di Conrad Sifer (1493), meridiana della cattedrale di Strasburgo © Fototeca Gilardi

[49.](#) P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, Norton, New York, 2003, p. 126; trad. it. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré*, Cortina, Milano, 2004.

[50.](#) Una bella panoramica storica sul modo in cui la tecnologia ha progressivamente modificato il nostro concetto di tempo è in A. Frank, *About Time*, Free Press, New York, 2011.

[51.](#) D.A. Golombek, I.L. Bussi e P.V. Agostino, *Minutes, days and years: molecular interactions among different scales of biological timing*, «Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B: Biological Sciences», 369, 2014.

[52.](#) Il tempo è ἀριθμός κινήσεως κατὰ τὸ πρότερον καὶ ὕστερον: «numero del cambiamento, rispetto al prima e al dopo» (Aristotele, *Fisica*, IV, 219 b 2; si veda anche 232 b 22-23).

[53.](#) Aristotele, *Fisica*, IV, 219 a 4-6.

[54.](#) I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, libro I, def. VIII, scholium.

[55.](#) *Loc. cit.*

[56.](#) Un'introduzione alla filosofia dello spazio e del tempo è in B.C. van Fraassen, *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*, Random House, New York, 1970.

[57.](#) Busto di Aristotele © De Agostini / Getty Images.

[58](#). Isaac Newton, scultura di Edward Hodges Baily (1828), secondo Louis-François Roubiliac (1751), National Portrait Gallery, Londra © National Portrait Gallery, London / Foto Scala Firenze.

[59](#). L'equazione fondamentale di Newton è $F = m d^2x/dt^2$. (Si noti che il tempo t è al quadrato: per questo l'equazione non distingue t da $-t$, cioè è la stessa in avanti o indietro nel tempo, come raccontato nel capitolo 2).

[60](#). Molti manuali di storia della scienza oggi curiosamente presentano la discussione fra Leibniz e i newtoniani come se Leibniz fosse l'eterodosso con audaci e innovative idee relazionaliste. In realtà è il contrario: Leibniz difendeva (con una nuova ricchezza di argomenti) la comprensione tradizionale dominante dello spazio che da Aristotele a Cartesio era sempre stata relazionalista.

[61](#). La definizione di Aristotele è più precisa: il luogo di una cosa è il *bordo interno* di ciò che circonda la cosa. Definizione bella e rigorosa.

[62](#). Sono stato criticato per aver raccontato la storia della scienza come fosse solo il risultato del pensiero di poche menti geniali, invece che del lento lavoro di generazioni. La critica è giusta, e mi scuso con le generazioni che hanno fatto, e stanno facendo, il necessario lavoro. L'unica mia scusante è che non sto facendo analisi storica dettagliata, né metodologia della scienza. Sto solo sintetizzando i passi cruciali. Ci sono voluti i lenti progressi tecnici, culturali e artistici di innumerevoli botteghe di pittori e artigiani per arrivare alla Cappella Sistina. Però alla fine la Cappella Sistina l'ha dipinta Michelangelo.

[63](#). Il percorso attraverso il quale Einstein è arrivato a questa conclusione è stato lungo: non si è concluso con la scrittura delle equazioni di campo nel 1915, ma è proseguito in un tortuoso sforzo di comprenderne il significato fisico, che ha portato Einstein a cambiare idea ripetutamente. Einstein in

particolare è stato molto confuso sull'esistenza di soluzioni senza materia e sul carattere reale o meno delle onde gravitazionali. Raggiunge definitiva chiarezza solo negli ultimi scritti, e in particolare nella quinta appendice *Relativity and the Problem of Space*, aggiunta alla quinta edizione di *Relativity: The Special and General Theory* (Methuen, London, 1954). L'appendice si può leggere in http://www.relativitybook.com/resources/Einstein_space.html. Per motivi di copyright questa appendice non è inclusa nella maggior parte delle edizioni del libro. Una discussione approfondita è nel capitolo 2 del mio *Quantum Gravity* (Cambridge University Press, Cambridge, 2004).

5
QUANTI DI TEMPO

C'è in casa
un orcio di vino vecchio,
di nove anni passati.
C'è, Fillide, nel giardino
l'appio per intrecciare corone
e tanta edera...
Ti invito a festeggiare
questo giorno di mezzo aprile,
giorno per me di festa,
più caro quasi del mio natale
(IV, 11)

Lo strano paesaggio della fisica relativistica che ho descritto fin qui diventa ancora più alieno quando consideriamo i quanti: le proprietà quantistiche dello spazio e del tempo.

La disciplina che le studia si chiama «gravità quantistica», ed è il mio campo di ricerca.⁶⁴ Non c'è ancora una teoria della gravità quantistica che raccolga il consenso della comunità scientifica e sia confermata da esperimenti. La mia vita scientifica è stata largamente dedicata a contribuire alla costruzione di una possibile soluzione al problema: la gravità quantistica *a loop*, o *teoria dei loop*. Non tutti scommettono su questa soluzione. Gli amici che lavorano sulla teoria delle stringhe, per esempio, seguono piste diverse, e la bagarre per stabilire chi ha ragione è in pieno corso. Bene, la scienza cresce anche grazie a feroci discussioni: prima o poi arriveremo a chiarire chi ha ragione, e forse non manca molto.

Riguardo alla natura del tempo, però, negli ultimi anni le divergenze sono diminuite, e molte conclusioni sono diventate

abbastanza chiare ai più. Quello che si è chiarito è che anche la residua impalcatura temporale della relatività generale, illustrata nel capitolo precedente, si perde, se teniamo conto dei quanti.

Il tempo universale si è frantumato in una miriade di tempi propri, ma se teniamo conto dei quanti dobbiamo accettare l'idea che ciascuno di questi tempi, a sua volta, «fluttua», è sparso come in una nuvola e può avere solo certi valori e non altri... Non arrivano più a formare il foglio di spaziotempo disegnato nei capitoli precedenti.

Sono tre le scoperte di base a cui ha portato la meccanica quantistica: granularità, indeterminazione e l'aspetto relazionale delle variabili fisiche. Ciascuna di queste demolisce ulteriormente quel poco che restava della nostra idea di tempo. Vediamole una alla volta.

Granularità

Il tempo misurato da un orologio è «quantizzato», cioè prende solo certi valori e non altri. È come se il tempo fosse granulare invece che continuo.

La granularità è la conseguenza caratteristica della meccanica quantistica, da cui la teoria prende il suo stesso nome: i «quanti» sono i grani elementari. Esiste una scala minima per tutti i fenomeni.⁶⁵ Per il campo gravitazionale questa si chiama «scala di Planck». Il tempo minimo è chiamato «tempo di Planck». Il suo valore si stima facilmente combinando le costanti che caratterizzano i fenomeni relativistici, gravitazionali e quantistici.⁶⁶ Insieme, queste determinano il tempo di 10^{-44} secondi: un centomilionesimo di un miliardesimo di un miliardesimo di un miliardesimo di un secondo. Questo è il tempo di Planck: a questi tempi piccolissimi si manifestano gli effetti quantistici sul tempo.

Il tempo di Planck è piccolo, molto più piccolo di quanto

qualunque orologio reale possa oggi misurare. È talmente piccolo che non c'è da stupirsi se «laggiù», a una scala così minuta, la nozione di tempo non vale più. Perché mai dovrebbe valere ancora? Niente vale sempre e ovunque. Prima o poi, incontriamo sempre qualcosa di totalmente nuovo.

La «quantizzazione» del tempo implica che quasi tutti i valori del tempo t non esistono. Se potessimo misurare la durata di un intervallo con l'orologio più preciso immaginabile, dovremmo trovare che il tempo misurato prende solo certi valori discreti speciali. Non possiamo pensare la durata come continua. Dobbiamo pensarla discontinua: non come qualcosa che possa fluire uniformemente, ma come qualcosa che in un certo senso salta, come un canguro, da un valore all'altro.

In altre parole, esiste un intervallo *minimo* di tempo. Al di sotto di esso, la nozione di tempo non esiste neanche nella sua accezione più spoglia.

Fiumi di inchiostro versati nei secoli, da Aristotele a Heidegger, per discutere la natura del «continuo» forse sono stati male spesi. La continuità è solo una tecnica matematica per approssimare cose a grana molto fine. Il mondo è sottilmente discreto, non è continuo. Il Buon Dio non ha disegnato il mondo con linee continue: lo ha tratteggiato a puntini con mano leggera come faceva Seurat.

La granularità è ubiqua in natura: la luce è fatta di fotoni, particelle di luce. L'energia degli elettroni negli atomi può prendere solo certi valori e non altri. L'aria più pura come la materia più compatta sono granulari: sono fatte di molecole. Una volta capito che spazio e tempo di Newton sono entità fisiche come le altre, è naturale aspettarsi che anch'essi siano granulari. La teoria conferma quest'idea: la gravità quantistica a loop prevede che i salti temporali elementari siano piccoli, ma finiti.

L'idea che il tempo possa essere granulare, che ci siano intervalli minimi di tempo, non è nuova. È difesa nel VII secolo della nostra era da Isidoro di Siviglia nelle sue *Etymologiae*, e

nel secolo successivo dal Venerabile Beda in un'opera che si intitola significativamente *De Divisionibus Temporum*, le divisioni dei tempi. Nel XII secolo il grande filosofo Maimonide scrive: «Il tempo è composto da atomi, cioè da molte parti che non possono essere ulteriormente suddivise, a causa della corta durata». ⁶⁷ Probabilmente l'idea è ancora più antica: la perdita dei testi originali di Democrito non ci permette di sapere se fosse già presente nell'atomismo greco classico. ⁶⁸ Il pensiero astratto può anticipare di secoli ipotesi che trovano impiego - o conferma - nell'indagine scientifica.

La sorella spaziale del *tempo di Planck* è la *lunghezza di Planck*. Il limite minimo sotto il quale la nozione di lunghezza perde senso. La lunghezza di Planck è circa 10^{-33} centimetri: un milionesimo di un miliardesimo di un miliardesimo di un miliardesimo di un millimetro. Da ragazzo, all'università, mi sono innamorato del problema di cosa succede a queste scale piccolissime; ho dipinto un grande foglio con al centro, in rosso, un baluginante

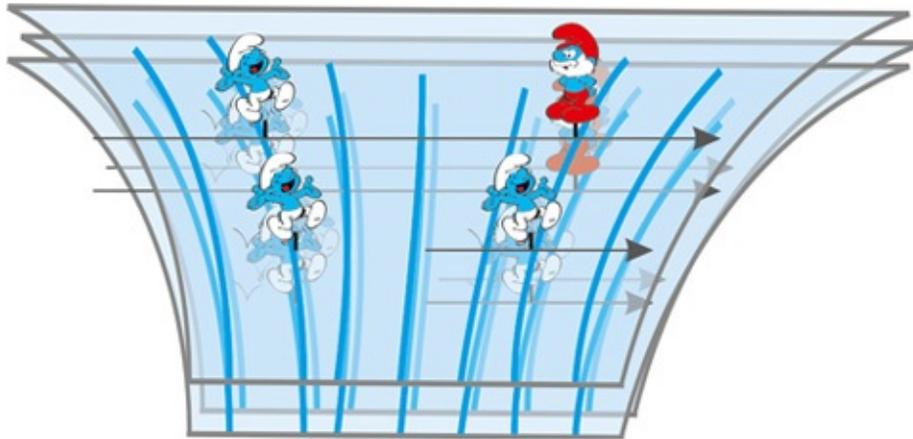


L'ho appeso nella mia camera da letto a Bologna, e ho deciso che il mio obiettivo sarebbe stato cercare di capire cosa succede laggiù, alle scale piccolissime dove spazio e tempo smettono di essere quello che sono. Fino ai quanti elementari di spazio e di tempo. Poi ho passato il resto della vita a provarci.

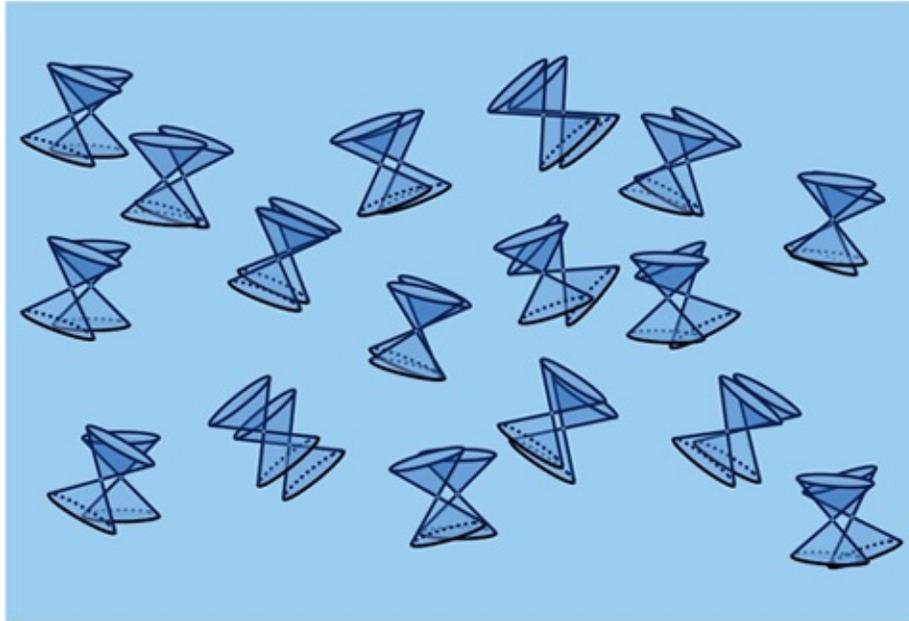
Sovrapposizioni quantistiche di tempi

La seconda scoperta della meccanica quantistica è l'indeterminazione: non è possibile prevedere in modo esatto, per esempio, dove apparirà domani un elettrone. Fra un'apparizione e l'altra l'elettrone non ha posizione precisa,⁶⁹ è come fosse sparso in una nuvola di probabilità. Si dice, nel gergo dei fisici, che è in una «sovrapposizione» di posizioni.

Lo spaziotempo è un oggetto fisico come un elettrone. Anch'esso fluttua. Anch'esso può essere in una «sovrapposizione» di configurazioni diverse. Il disegno del tempo che si dilata, per esempio, dobbiamo - se teniamo conto della meccanica quantistica - immaginarlo come una sfocata sovrapposizione di spazitempi diversi, più o meno come nell'immagine qui sotto.



Similmente fluttua la struttura di coni luce che in ogni punto distingue passato, presente e futuro, come qui:



Anche la distinzione fra presente, passato e futuro diventa quindi fluttuante, indeterminata. Come una particella può essere diffusa nello spazio, così la differenza fra passato e futuro può fluttuare: un avvenimento può essere insieme prima e dopo un altro.

Relazioni

«Fluttuazione» non significa che quello che accade non sia *mai* determinato; significa che è determinato solo in alcuni momenti e in maniera imprevedibile. L'indeterminazione si risolve quando una quantità interagisce con qualcos'altro.⁷⁰ Nell'interazione, un elettrone si materializza in un punto preciso. Per esempio, colpisce uno schermo, è catturato da un rivelatore di particelle, o collide con un fotone; prende una posizione concreta.

Ma c'è un aspetto strano di questo concretizzarsi dell'elettrone: l'elettrone è concreto solo *rispetto* agli oggetti fisici con cui sta interagendo. Rispetto a tutti gli altri, l'interazione non fa che diffondere il contagio dell'indeterminazione. La concretezza è

solo relativa a un sistema fisico; questa, io credo, è la scoperta radicale della meccanica quantistica.⁷¹

Quando un elettrone colpisce un oggetto, per esempio lo schermo di un vecchio televisore a tubo catodico, la nuvola di probabilità con cui lo pensavamo «collassa» e l'elettrone si concretizza in un punto dello schermo, producendo il puntino luminoso che contribuisce a disegnare la scena televisiva. Ma è solo rispetto allo schermo che questo accade. Rispetto a un altro oggetto, l'elettrone comunica semplicemente la sua indeterminazione allo schermo, cosicché elettrone e schermo ora sono insieme in una sovrapposizione di configurazioni, ed è solo al momento dell'interazione con un ulteriore oggetto che la loro comune nuvola di probabilità «collassa» e si concretizza in una configurazione particolare, e così via.

È ostico fare propria l'idea che un elettrone si comporti in modo così bizzarro. Ancora più difficile digerire l'idea che così si comportino spazio e tempo. Eppure, con ogni evidenza, questo è il mondo quantistico: il mondo in cui viviamo.

Il sostrato fisico che determina la durata e gli intervalli temporali - il campo gravitazionale - non ha solo una dinamica influenzata dalle masse; è anche un'entità quantistica che non ha valori determinati se non quando interagisce con qualcosa. Quando lo fa, le durate sono granulari e determinate solo per quel qualcosa, mentre restano indeterminate per il resto dell'universo.

Il tempo si è sciolto in una rete di relazioni che non tesse neppure più una tela coerente. Le immagini di spazitempi (al plurale) fluttuanti, sovrapposti gli uni agli altri, che si concretizzano a tratti rispetto ad oggetti particolari, sono una visione vaga, ma è la migliore che ci resta della grana fine del mondo. Ci stiamo affacciando sul mondo della gravità quantistica.

Ricapitolo il lungo tuffo all'ingiù che è stata questa prima parte del libro. Il tempo non è unico: c'è una durata diversa per ogni traiettoria; passa a ritmi diversi secondo il luogo e secondo la velocità. Non è orientato: la differenza fra passato e futuro non c'è nelle equazioni elementari del mondo, è un aspetto contingente che appare quando guardiamo le cose trascurando i dettagli; in questa sfocatura il passato dell'universo era in uno stato curiosamente «peculiare». La nozione di «presente» non funziona: nel vasto universo non c'è nulla che possiamo ragionevolmente chiamare «presente». Il sostrato che determina le durate del tempo non è un'entità indipendente, diversa dalle altre che costituiscono il mondo; è un aspetto di un campo dinamico. Questo salta, fluttua, si concretizza solo interagendo e non è definito al di sotto di una scala minima... Cosa resta del tempo?

«Meglio che getti a mare l'orologio che hai al polso e cerchi di capire che il tempo che vuole catturare non è altro che il movimento delle sue lancette...».⁷²

Entriamo nel mondo senza tempo.

[64](#). Ne parlo in maniera approfondita in *La realtà non è come ci appare* (Cortina, Milano, 2014).

[65](#). Non è possibile localizzare un grado di libertà in una regione del suo spazio delle fasi con un volume più piccolo della costante di Planck.

[66](#). Velocità della luce, costante di Newton e costante di Planck.

[67](#). Maimonide, *Guida dei perplessi*, I, 73, 106 a.

[68](#). Possiamo cercare di inferire il pensiero di Democrito dalla discussione di Aristotele (per esempio in *Fisica*, IV, 213 sgg.), ma l'evidenza mi sembra insufficiente. Si veda *Democrito*.

Raccolta dei frammenti, interpretazione e commentario di Salomon Luria, Bompiani, Milano, 2007.

[69](#). A meno che non sia vera la teoria di DeBroglie-Bohm, nel qual caso c'è l'ha, ma ce la nasconde. Che forse non è poi così diverso.

[70](#). Il termine tecnico per interazione è «misura», che è fuorviante, perché sembra implicare che per creare la realtà ci debba essere un fisico sperimentale in camice bianco.

[71](#). Faccio qui uso dell'interpretazione relazionale della meccanica quantistica, che è quella che trovo meno implausibile. Le osservazioni che seguono, in particolare la perdita dello spaziotempo classico che soddisfa le equazioni di Einstein, restano valide in ogni altra interpretazione che io conosca.

[72](#). Grateful Dead, *Walk in the Sunshine*.

PARTE SECONDA
IL MONDO SENZA TEMPO

IL MONDO È FATTO DI EVENTI,
NON DI COSE

Signori, il tempo della vita è
breve...
se viviamo,
viviamo per calpestare i re

SHAKESPEARE, *Enrico IV*

Quando Robespierre liberò la Francia dalla monarchia, l'Europa dell'*Ancien Régime* temette fosse la fine della civiltà. Quando i giovani vogliono liberarsi da un vecchio ordine delle cose, i vecchi temono che tutto naufraghi. Ma l'Europa ha potuto vivere benissimo anche senza il Re di Francia. Il mondo può continuare a vivere benissimo anche senza Re Tempo.

C'è tuttavia un aspetto del tempo che è sopravvissuto allo sfaldamento subito con la fisica del XIX e XX secolo. Svestito degli orpelli di cui l'aveva ammantato la teoria Newtoniana, ai quali ci eravamo tanto abituati, splende ora ancora più chiaro: il mondo è cambiamento.

Nessuno dei pezzi che il tempo ha perso (unicità, direzione, indipendenza, presente, continuità...) mette in questione il fatto che il mondo sia una rete di *avvenimenti*. Una cosa è il tempo con le sue molte determinazioni, altra è il semplice fatto che le cose non «sono»: accadono.

L'assenza della quantità «tempo» nelle equazioni fondamentali non significa un mondo congelato e immobile. Al contrario, significa un mondo dove il cambiamento è ubiquo, senza essere ordinato da Padre Tempo: senza che gli innumerevoli

accadimenti si dispongano necessariamente in bell'ordine, né lungo la singola linea del tempo Newtoniano, né secondo le eleganti geometrie Einsteiniane. Gli eventi del mondo non si mettono in fila come gli inglesi. Si accalcano caotici come gli italiani.

Ma sono avvenimenti, cambiare, accadere. L'accadere è diffuso, sparso, disordinato, ma è accadere, non stasi. Gli orologi che vanno a velocità diverse non definiscono un unico tempo, ma le posizioni delle loro lancette cambiano una rispetto all'altra. Le equazioni fondamentali non includono una variabile tempo, ma includono variabili che cambiano le une rispetto alle altre. Il tempo, suggeriva Aristotele, è la misura del cambiamento; variabili diverse possono essere scelte per misurare il cambiamento e nessuna di queste ha *tutte* le caratteristiche del tempo della nostra esperienza; ma ciò non toglie il fatto che il mondo sia incessante cambiare.

Tutta l'evoluzione della scienza indica che la migliore grammatica per pensare il mondo sia quella del cambiamento, non quella della permanenza. Dell'accadere, non dell'essere.

Si può pensare il mondo come costituito di *cose*. Di *sostanza*. Di *enti*. Di qualcosa che è. Che permane. Oppure pensare che il mondo sia costituito di *eventi*. Di *accadimenti*. Di *processi*. Di qualcosa che *succede*. Che non dura, che è continuo trasformarsi. Che non permane nel tempo. La distruzione della nozione di tempo nella fisica fondamentale è il crollo della prima di queste due prospettive, non della seconda. È la realizzazione dell'ubiquità dell'impermanenza, non della staticità in un tempo immobile.

Pensare il mondo come un insieme di eventi, di processi, è il modo che ci permette di meglio coglierlo, comprenderlo, descriverlo. È l'unico modo compatibile con la relatività. Il mondo non è un insieme di cose, è un insieme di eventi.

La differenza fra cose e eventi è che le *cose* permangono nel tempo. Gli *eventi* hanno durata limitata. Un prototipo di una «cosa» è un sasso: possiamo chiederci dove sarà domani.

Mentre un bacio è un «evento». Non ha senso chiedersi dove sia andato il bacio domani. Il mondo è fatto di reti di baci, non di sassi.

Le unità semplici nei termini delle quali comprendere il mondo non stanno in un qualche punto dello spazio. Sono - se ci sono - in un *dove* ma anche in un *quando*. Sono spazialmente ma anche temporalmente limitate: sono eventi.

A ben guardare, infatti, anche le «cose» che più sembrano «cose» non sono in fondo che lunghi eventi. Il sasso più solido, alla luce di quello che abbiamo imparato dalla chimica, dalla fisica, dalla mineralogia, dalla geologia, dalla psicologia, è in realtà un complesso vibrare di campi quantistici, un interagire momentaneo di forze, un processo che per un breve istante riesce a mantenersi in equilibrio simile a se stesso, prima di disgregarsi di nuovo in polvere, un capitolo effimero nella storia delle interazioni fra gli elementi del pianeta, una traccia di un'umanità neolitica, un'arma dei ragazzi della via Pál, un esempio in un libro sul tempo, una metafora per un'ontologia, una porzione di una partizione del mondo che dipende dalle strutture percettive del nostro corpo più che dall'oggetto della percezione, e via e via, un nodo intricato di quel cosmico gioco di specchi che è la realtà. Il mondo non è fatto di sassi più di quanto sia fatto di suoni fugaci e di onde che corrono sul mare.

Se il mondo fosse fatto di cose, d'altra parte, quali sarebbero queste cose? Gli atomi, che abbiamo scoperto essere composti a loro volta di particelle più piccole? Le particelle elementari, che abbiamo scoperto essere nient'altro che eccitazioni effimere di un campo? I campi quantistici, che abbiamo scoperto essere poco più che codici di un linguaggio per parlare di interazioni e eventi? Non riusciamo a pensare al mondo *fisico* come fatto di cose, di enti. Non funziona.

Invece funziona pensare il mondo come rete di eventi. Eventi più semplici ed eventi più complessi che si possono scomporre in combinazioni di eventi più semplici. Qualche esempio: una guerra non è una cosa, è un insieme di eventi. Un temporale

non è una cosa, è un insieme di accadimenti. Una nuvola sopra una montagna non è una cosa: è il condensarsi dell'umidità dell'aria man mano che il vento scavalca la montagna. Un'onda non è una cosa, è un muoversi di acqua, l'acqua che la disegna è sempre diversa. Una famiglia non è una cosa, è un insieme di relazioni, avvenimenti, sentire. E un essere umano? Certo non è una cosa: è un processo complesso, in cui, come nella nuvola sopra la montagna, entrano ed escono aria, cibo, informazioni, luce, parole, e così via... Un nodo di nodi in una rete di relazioni sociali, in una rete di processi chimici, in una rete di emozioni scambiate con i propri simili.

Per molto tempo abbiamo cercato di comprendere il mondo in termini di una qualche *sostanza* primaria. Forse più di ogni altra disciplina, la fisica ha inseguito questa sostanza primaria. Ma più lo abbiamo studiato, meno il mondo sembra comprensibile in termini di qualcosa che è. Sembra essere molto meglio comprensibile in termini di relazioni fra accadimenti.

Le parole di Anassimandro citate nel primo capitolo ci invitavano a pensare il mondo «secondo l'ordine del tempo». Se non assumiamo di sapere *a priori quale* sia l'ordine del tempo, se non presupponiamo cioè l'ordine lineare e universale che ci è familiare, l'esortazione di Anassimandro resta valida: capiamo il mondo studiando il cambiamento, non studiando le cose.

Chi ha dimenticato questo buon consiglio ne ha fatto le spese. Due grandi che caddero in quest'errore sono stati Platone e Keplero, curiosamente sedotti entrambi dalla stessa matematica.

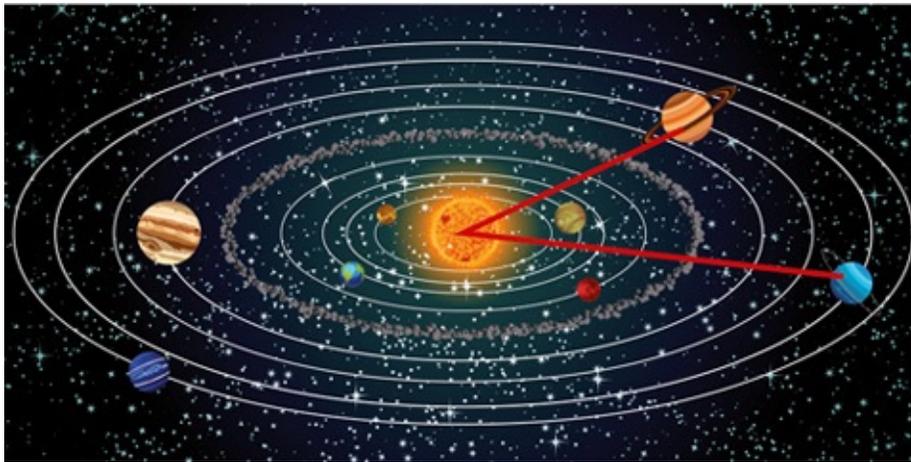
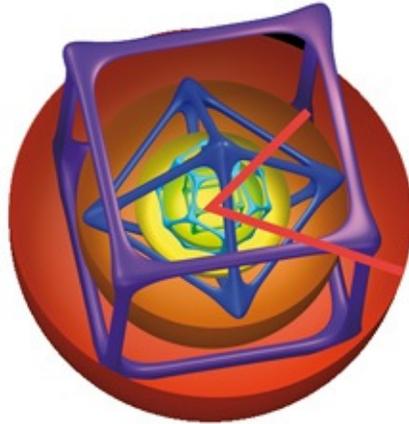
Nel *Timeo*, Platone ha l'ottima idea di provare a tradurre in matematica le intuizioni fisiche degli atomisti come Democrito. Ma lo fa in maniera sbagliata: tenta di scrivere la matematica della *forma* degli atomi, invece che la matematica del loro

movimento. Si fa affascinare da un teorema matematico che stabilisce che ci sono cinque, e *solo* cinque, poliedri regolari, eccoli:



e tenta l'ipotesi audace che queste siano proprio le forme degli atomi di quelle che nell'antichità si pensava fossero le cinque sostanze elementari: terra, acqua, aria, fuoco e la quintessenza di cui sono fatti i cieli. Bellissima idea, del tutto sbagliata. L'errore è cercare di comprendere il mondo in termini di cose anziché eventi: ignorare il cambiamento. La fisica e l'astronomia che funzioneranno, da Tolomeo a Galileo, da Newton a Schrödinger, saranno la descrizione matematica di come le cose *cambiano*, non di come *sono*. Degli avvenimenti, non delle cose. Le *forme* degli atomi saranno finalmente capite solo come soluzioni dell'equazione di Schrödinger, che descrive come gli elettroni *si muovono* negli atomi: ancora accadimenti, non cose.

Secoli dopo, prima di arrivare ai grandi risultati della maturità, il giovane Keplero cade nello stesso errore. Si chiede cosa determini la dimensione delle orbite dei pianeti e si fa stregare dallo stesso teorema che ha stregato Platone (è un bellissimo teorema, in effetti). Ipotizza che siano i poliedri regolari a determinare le dimensioni delle orbite dei pianeti: se li incastriamo uno dentro l'altro con delle sfere fra l'uno e l'altro, i raggi di queste sfere saranno - ipotizza Keplero - nella stessa proporzione dei raggi delle orbite dei pianeti.



Bella idea, del tutto strampalata. Ancora una volta è la dinamica che manca. Quando Keplero passa, più tardi, a occuparsi di come *si muovono* i pianeti, le porte del cielo gli si aprono.

Noi, quindi, descriviamo il mondo come accade, non come è. Meccanica di Newton, equazioni di Maxwell, meccanica quantistica, eccetera, ci dicono come accadono *eventi*, non come sono *cose*. Capiamo la biologia studiando come *evolvono* e *vivono* esseri viventi. Capiamo la psicologia (un po', non molto) studiando come interagiamo fra noi, come pensiamo...

Capiamo il mondo nel suo divenire, non nel suo essere.

Le «cose» stesse sono solo accadimenti che per un po' sono monotoni.⁷³ Prima di ritornare alla polvere. Perché prima o poi, ovviamente, tutto ritorna alla polvere.

L'assenza del tempo non significa quindi che tutto sia gelato e immoto. Significa che l'incessante accadere che affatica il mondo non è ordinato da una linea del tempo, non è misurato da un gigantesco tic-tac. Non forma neppure una geometria quadridimensionale. È una sterminata e disordinata rete di eventi quantistici. Il mondo è più come Napoli che come Singapore.

Se per «tempo» intendiamo null'altro che l'accadere, allora ogni cosa è tempo: esiste solo ciò che è nel tempo.

[73.](#) N. Goodman, *The Structure of Appearance*, Harvard University Press, Cambridge, 1951; trad. it. *La struttura dell'apparenza*, il Mulino, Bologna, 1985.

L'INADEGUATEZZA DELLA GRAMMATICA

Se n'è andato il bianco
 delle nevi.
 Il verde torna
 nell'erba dei campi,
 nelle chiome degli alberi;
 e la grazia lieve della
 primavera
 ancora è con noi.
 Così il giro del tempo,
 l'ora che passa e ci rapisce
 la luce
 sono il messaggio
 dell'impossibile nostra
 immortalità.
 Il gelo allentano questi tiepidi
 venti (IV, 7)

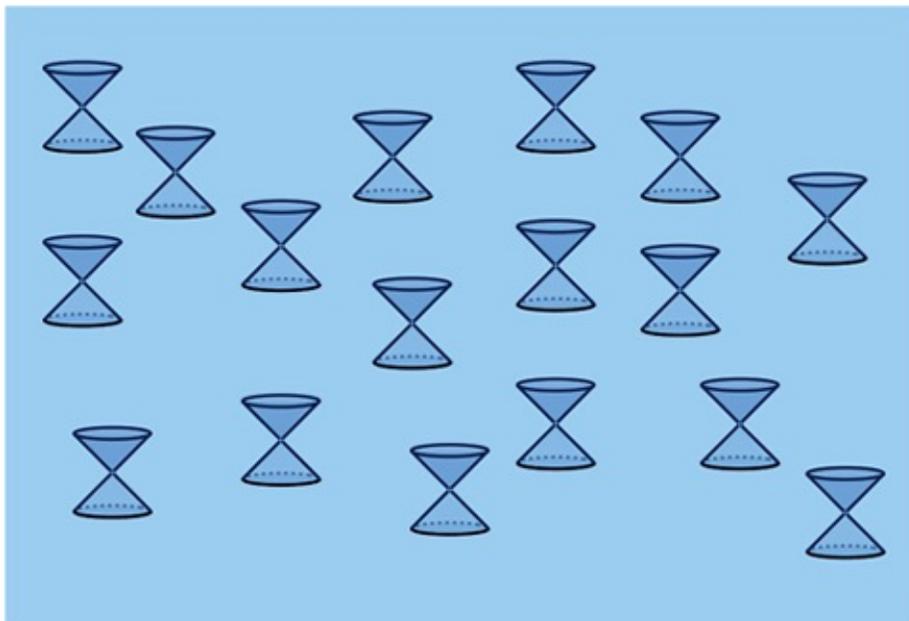
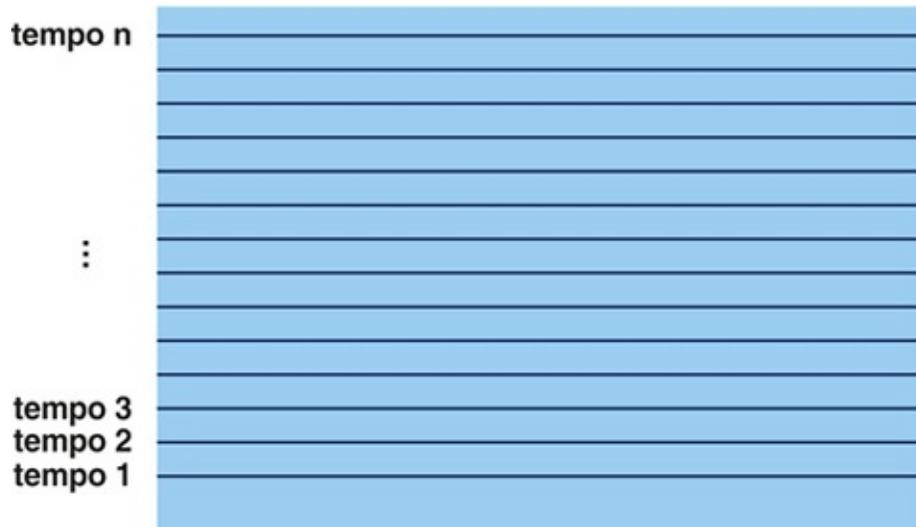
Di solito chiamiamo «reali» le cose che esistono *adesso*. Nel presente. Non ciò che è esistito tempo fa o esisterà in futuro. Diciamo che le cose nel passato o nel futuro «erano» reali o «saranno» reali, ma non che «sono» reali.

I filosofi chiamano «presentismo» l'idea che solo il presente sia reale, che passato e futuro non lo siano, e la *realtà* evolva da un presente a un altro successivo.

Questo modo di pensare non funziona più se il «presente» non è definito globalmente, se è qualcosa di definito solo vicino a noi, solo in modo approssimato. Se il presente lontano da qui non è definito, cosa «è reale» nell'universo? Cosa esiste adesso

nell'universo?

Immagini come queste, che abbiamo visto nei capitoli precedenti



disegnano *un'intera evoluzione* dello spaziotempo con un'unica immagine: non rappresentano un solo tempo, ma tutti i tempi assieme. Sono come una sequenza di fotografie di un uomo che

corre, o un intero libro che contiene un racconto che si sviluppa lungo anni. Sono una rappresentazione schematica di una possibile *storia* del mondo, non di un suo singolo stato istantaneo.

Il primo disegno illustra come pensavamo la struttura temporale del mondo *prima* di Einstein. L'insieme degli eventi reali *adesso*, a un tempo dato, è questo in rosso:



Ma il secondo disegno rappresenta meglio la struttura temporale del mondo, e lì non c'è nulla di simile a un presente. Non c'è il presente. Allora cosa è reale *adesso*?

La fisica del XX secolo mostra in modo che mi sembra inequivocabile come il nostro mondo reale non sia ben descritto dal *presentismo*: non esiste un presente globale oggettivo. Al massimo possiamo parlare di un presente relativo a un osservatore in moto, ma allora quello che è reale per me è diverso da quello che è reale per te, mentre vorremmo usare l'espressione «reale» - per quanto possibile - in modo oggettivo. Il mondo dunque non va pensato come un susseguirsi di presenti.⁷⁴

Che alternative abbiamo?

I filosofi chiamano «eternalismo» l'idea che fluire e cambiamento siano illusori: presente, passato e futuro sono tutti egualmente reali ed egualmente esistenti. L'eternalismo è l'idea che l'intero spaziotempo, schematizzato nei disegni qui sopra, esista tutto quanto assieme nella sua interezza senza che nulla cambi. Nulla che veramente fluisca.⁷⁵

Chi difende questo modo di pensare la realtà, l'eternalismo, spesso cita Einstein, che in una lettera famosa scrive:

Per quelli di noi che credono nella fisica, la distinzione fra passato, presente e futuro è solo una ostinata persistente illusione.⁷⁶

Questa idea viene chiamata anche l'«universo-blocco», o più comunemente, in inglese, il *block universe*: l'idea che sia necessario pensare all'intera storia dell'universo come a un unico blocco, tutta egualmente reale, e che il passaggio da un momento del tempo al successivo sia solo qualcosa di illusorio.

È questo - l'eternalismo, l'universo-blocco - l'unico modo che ci resta per pensare il mondo? Dobbiamo pensare il mondo, con passato, presente e futuro, come un unico presente, esistente tutto allo stesso modo? Niente cambia e tutto è immobile? Il cambiamento è solo illusione?

No. Non credo proprio.

Il fatto che non possiamo ordinare l'universo come un'unica successione ordinata di tempi non significa che nulla cambia. Significa che i cambiamenti non sono ordinati lungo un'unica successione ordinata: la struttura temporale del mondo è più complessa che una semplice successione lineare di istanti. Non per questo non esiste o è illusoria.⁷⁷

La distinzione fra passato, presente e futuro non è un'illusione. È la struttura temporale del mondo. Ma la struttura temporale del mondo non è quella del presentismo. Le relazioni temporali

fra eventi sono più complesse di quanto pensassimo prima, ma non per questo non ci sono. Le relazioni di filiazione non stabiliscono un ordine globale, ma non per questo sono illusorie. Se non siamo tutti in fila indiana, non per questo non c'è nessuna relazione fra noi. Il cambiamento, l'accadere, non è un'illusione. Quello che abbiamo scoperto è che non avviene seguendo un ordine globale.⁷⁸

Torniamo allora alla domanda di partenza: cosa «è reale»? Cosa «esiste»?

La risposta è che questa è una domanda mal posta, significa tutto e nulla. Perché l'aggettivo «reale» è ambiguo, ha mille significati. Il verbo «esistere» ne ha ancora di più. Alla domanda: «Esiste un burattino a cui cresce il naso quando dice bugie?», si può rispondere: «Certo che esiste! È Pinocchio!»; oppure: «No, non esiste, è solo una fantasia inventata da Collodi». Le due risposte sono entrambe corrette, perché usano il verbo «esistere» con significati diversi.

Ci sono tanti modi diversi in cui diciamo che una cosa esiste: una legge, un sasso, una nazione, una guerra, un personaggio di una commedia, un dio di una religione a cui non aderiamo, un dio di una religione a cui aderiamo, un grande amore, un numero... ciascuno di questi enti «esiste» ed «è reale» in un senso diverso dagli altri. Possiamo chiederci in che senso qualcosa esista o meno (Pinocchio esiste come personaggio letterario, non all'anagrafe italiana), o se una cosa esista in un senso determinato (esiste una regola che vieta di arroccare dopo aver mosso la torre?). Chiedersi in generale «cosa esiste» o «cosa è reale» significa solo chiedersi come vogliamo usare un verbo e un aggettivo.⁷⁹ È una domanda grammaticale, non una domanda sulla natura.

La natura, dal canto suo, è quella che è, e noi la scopriamo pian piano. Se la nostra grammatica e la nostra intuizione non si adattano a quello che scopriamo, poco male, cerchiamo di

adattarle.

La grammatica di molte lingue moderne declina i verbi in «presente», «passato» e «futuro». Non è adatta per parlare della struttura temporale reale del mondo, che è più complessa. La grammatica si è formata dalla nostra esperienza limitata, prima che ci accorgessimo della sua imprecisione nel cogliere la ricca struttura del mondo.

Quello che ci confonde, quando cerchiamo di mettere ordine nella scoperta che non esiste un presente oggettivo universale, è solo il fatto che la nostra grammatica è organizzata intorno a una distinzione assoluta «passato-presente-futuro», che invece è adatta soltanto parzialmente, qui vicino a noi. La struttura della realtà non è quella che questa grammatica presuppone. Diciamo che un evento «è», oppure «è stato», oppure «sarà». Non abbiamo una grammatica adatta per dire che un evento «è stato» rispetto a me, ma «è» rispetto a te.

Non dobbiamo lasciarci confondere da una grammatica inadeguata. C'è un testo del mondo antico che parlando della forma sferica della Terra dice:

Per coloro che sono in basso, le cose in alto sono in basso, mentre le cose in basso sono in alto ... ed è così intorno all'intera Terra.⁸⁰

A una prima lettura la frase è un guazzabuglio di controsensi. Com'è possibile che «le cose in alto sono in basso, mentre le cose in basso sono in alto»? Non significa nulla. È come il torvo «il brutto è bello e il bello è brutto» del *Macbeth*. Ma a rileggerla pensando alla forma e alla fisica della Terra, la frase diventa trasparente: l'autore sta dicendo che per chi vive agli antipodi (in Australia) la direzione «verso l'alto» è la stessa direzione che per noi in Europa è «verso il basso». Sta dicendo cioè che la direzione «alto» cambia da un punto all'altro della Terra. Intende che quello che è in alto *rispetto a Sydney* è in basso *rispetto a noi*. L'autore di questo testo, scritto duemila anni fa, stava combattendo per adattare il suo linguaggio e la

sua intuizione a una scoperta nuova: il fatto che la Terra è una palla, e «alto» e «basso» hanno un significato che *cambia* fra qui e là; non hanno, come era naturale pensare prima, un significato unico e universale.

Siamo nella stessa situazione. Combattiamo per adattare il nostro linguaggio e la nostra intuizione a una scoperta nuova: il fatto che «passato» e «futuro» non hanno significato universale, hanno un significato che cambia fra qui e là. Nient'altro.

Nel mondo c'è cambiamento, c'è una struttura temporale di relazioni fra gli eventi tutt'altro che illusoria. Non è un accadere globale ordinato. È un accadere locale e complesso, che non ammette di essere descritto nei termini di un unico ordine globale.

E la frase di Einstein citata? Non sembra dire che lui pensasse il contrario? Se anche fosse, non è certo perché Einstein ha scritto una frase o l'altra che siamo obbligati a trattarlo come oracolo. Einstein ha cambiato idea molte volte su questioni centrali, e possiamo trovare molte sue frasi sbagliate o che si contraddicono l'un l'altra.⁸¹ Ma in questo caso le cose sono forse assai più semplici. O più profonde.

Einstein scrive questa frase alla morte di Michele Besso. Michele è stato il suo amico più caro, il compagno di pensieri e discorsi fin dagli anni dell'università a Zurigo. La lettera dove Einstein scrive questa frase non è indirizzata a fisici o a filosofi. È indirizzata alla famiglia, e in particolare anche alla sorella di Michele. La frase precedente dice:

Ora lui [Michele] è partito da questo strano mondo, poco prima di me. Questo non significa nulla...

Non è una lettera scritta per pontificare sulla struttura del mondo; è una lettera scritta per consolare una sorella

addolorata. Una lettera dolce, che fa allusione alla comunanza spirituale fra Michele e Albert. Una lettera dove Einstein fa fronte anche al proprio dolore per la perdita dell'amico di sempre; e dove, evidentemente, ha davanti a sé anche la propria morte vicina. Una lettera di emozioni profonde, dove l'illusorietà e la cara irrilevanza a cui si allude non sono quelle del tempo dei fisici. Sono quelle della vita stessa. Fragile, breve, piena di illusioni. È una frase che parla di cose che stanno più a fondo della natura fisica del tempo.

Einstein muore il 18 aprile del 1955, un mese e tre giorni dopo il suo amico.

[74.](#) Sulle posizioni dissenzienti, si veda la nota 37.

[75.](#) Nella terminologia di un famoso articolo sul tempo di John McTaggart (*The Unreality of Time*, «Mind», N.S., 17, 1908, pp. 457-74; rist. in *The Philosophy of Time*, cit.), questo equivale a negare la realtà della A-serie (l'organizzazione del tempo in «passato-presente-futuro»). Il significato delle determinazioni temporali si ridurrebbe allora alla sola B-serie (l'organizzazione del tempo in «prima di-dopo di»). Per McTaggart questo implica negare la realtà del tempo. A mio giudizio, McTaggart è troppo rigido: il fatto che la mia automobile funzioni diversamente da come avevo immaginato e da come l'avevo definita nella mia testa non implica che la mia automobile non sia reale.

[76.](#) Lettera di A. Einstein al figlio e alla sorella di Michele Besso del 21 marzo 1955, in A. Einstein e M. Besso, *Correspondance, 1903-1955*, Hermann, Paris, 1972; trad. it. A. Einstein, *Opere scelte*, Bollati Boringhieri, Torino, 1988, p. 707 (la traduzione è mia).

[77.](#) L'argomento classico per l'universo-blocco è dato dal

filosofo Hilary Putnam in un famoso articolo del 1967 (*Time and Physical Geometry*, «The Journal of Philosophy», 64, pp. 240-47). Putnam usa la definizione di simultaneità di Einstein. Come abbiamo visto nella nota 30, se la Terra e *Proxima b* si avvicinano, un avvenimento A sulla Terra è simultaneo (per un terrestre) a un avvenimento B su *Proxima*, il quale a sua volta è simultaneo (per chi è su *Proxima*) a un avvenimento C sulla Terra, *che è nel futuro di A*. Putnam assume che «essere simultaneo» implichi «essere reale ora», e deduce che gli avvenimenti futuri (come C) sono reali ora. L'errore è assumere che la definizione di simultaneità di Einstein abbia valore ontologico, mentre è solo una definizione di comodo. Serve per individuare una nozione relativistica che si riduca a quella non relativistica in un'approssimazione. Ma la simultaneità non relativistica è una nozione riflessiva e transitiva, quella di Einstein no, quindi non ha senso assumere che le due abbiano lo stesso significato ontologico al di fuori dell'approssimazione non relativistica.

[78](#). L'argomento secondo cui la scoperta fisica dell'impossibilità del presentismo implica che il tempo sia illusorio è sviluppato da Gödel (*A Remark about the Relationship between Relativity Theory and Idealistic Philosophy*, in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, a cura di P.A. Schilpp, The Library of Living Philosophers, Evanston, 1949; trad. it. *Relatività e filosofia idealistica*, in A. Einstein, *Autobiografia scientifica*, Boringhieri, Torino, 1979, pp. 199-206). L'errore è sempre quello di definire il tempo come un blocco concettuale unico, che o c'è tutto o non c'è per niente. Il punto è discusso con chiarezza da Mauro Dorato (*Che cos'è il tempo?*, cit., p. 77).

[79](#). Si veda per esempio W.V.O. Quine, *On What There Is*, «The Review of Metaphysics», 2, 1948, pp. 21-38, e la bella discussione sul significato di realtà in J.L. Austin, *Sense and Sensibilia*, Clarendon Press, Oxford, 1962 (trad. it. *Senso e sensibilia*, Marietti, Genova, 2001).

[80](#). *De Hebd.*, II, 24, cit. in C.H. Kahn, *Anaximander and the*

Origins of Greek Cosmology, Columbia University Press, New York, 1960, pp. 84-85.

[81](#). Esempi di argomenti importanti dove Einstein ha sostenuto con forza tesi su cui poi ha cambiato idea: 1. l'espansione dell'universo (prima ridicolizzata, poi accettata); 2. l'esistenza delle onde gravitazionali (prima data per ovvia, poi negata, poi di nuovo accettata); 3. le equazioni della relatività non ammettono soluzioni senza materia (tesi difesa a lungo, poi abbandonata; è sbagliata); 4. non esiste nulla oltre l'orizzonte di Schwarzschild (sbagliato, ma forse non l'ha mai saputo); 5. le equazioni del campo gravitazionale non possono essere general-covarianti (asserito nel lavoro con Grossmann del 1912; tre anni dopo Einstein sostiene il contrario); 6. l'importanza della costante cosmologica (prima affermata, poi negata, e aveva ragione la prima volta)...

E prima o poi tornerà
il calcolo esatto del nostro
tempo
e saremo sulla barca
che naviga all'approdo
più amaro (II, 9)

Come funziona allora una descrizione fondamentale del mondo in cui tutto accade ma non c'è variabile tempo? In cui non c'è tempo comune e non c'è direzione privilegiata del cambiare?

Nel modo più semplice. Nel modo in cui abbiamo pensato il mondo fino a che Newton non ci ha convinti tutti che una variabile tempo fosse indispensabile.

Per descrivere il mondo non serve la variabile tempo. Servono variabili che lo descrivono: quantità che possiamo osservare, percepire, eventualmente misurare. La lunghezza di una strada, l'altezza di un albero, la temperatura di una fronte, il peso di un pane, il colore del cielo, il numero delle stelle nella volta celeste, l'elasticità di un bambù, la velocità di un treno, la pressione di una mano su una spalla, il dolore di una perdita, la posizione di una lancetta, l'altezza del sole sull'orizzonte... Questi sono i termini con cui descriviamo il mondo. Quantità e proprietà che vediamo continuamente *cambiare*. In questi cambiamenti ci sono regolarità: un sasso cade più in fretta di una piuma leggera. Luna e sole girano nel cielo rincorrendosi e si passano accanto una volta al mese... Fra queste quantità, ce ne sono alcune che vediamo cambiare regolarmente le une rispetto alle altre: il conto dei giorni, le fasi della luna, l'altezza

del sole sull'orizzonte, la posizione delle lancette di un orologio. È comodo usare *queste* come riferimento: ci vediamo tre giorni dopo la prossima luna, quando il sole sarà alto nel cielo. Ci vediamo domani quando l'orologio segnerà le 4:35. Se troviamo abbastanza variabili che restano abbastanza sincronizzate fra loro, è comodo usarle per parlare del *quando*.

In tutto questo non abbiamo bisogno di scegliere una variabile privilegiata e chiamarla «tempo». Abbiamo bisogno, se vogliamo fare scienza, di una teoria che ci dica come cambiano le variabili l'una rispetto all'altra. Cioè come cambia una quando altre cambiano. La teoria fondamentale del mondo deve essere fatta così; non ha bisogno di una variabile tempo: deve solo dirci come le cose che vediamo variare nel mondo variano l'una rispetto all'altra. Cioè quali sono le relazioni che possono sussistere fra queste variabili.⁸²

Le equazioni fondamentali della gravità quantistica sono effettivamente fatte così: non hanno una variabile tempo, e descrivono il mondo indicando le relazioni possibili fra le quantità variabili.⁸³

La prima volta che è stata scritta un'equazione per la gravità quantistica senza alcuna variabile tempo è stato nel 1967. L'equazione è stata trovata da due fisici americani, Bryce DeWitt e John Wheeler, e oggi è chiamata equazione di Wheeler-DeWitt.⁸⁴

All'inizio nessuno capiva cosa significasse un'equazione senza variabile tempo, forse neanche Bryce e John. (Wheeler: «Spiegare il tempo? Non senza spiegare l'esistenza! Spiegare l'esistenza? Non senza spiegare il tempo! Svelare la profonda connessione nascosta fra tempo e esistenza? ... Un compito per il futuro»)⁸⁵ Si è discusso della cosa molto a lungo, ci sono stati convegni, dibattiti, sono stati versati fiumi d'inchiostro.⁸⁶ Credo che la polvere si sia posata, e le cose siano ora molto più chiare. Non c'è nulla di misterioso nell'assenza del tempo nell'equazione fondamentale della gravità quantistica. È solo la conseguenza del fatto che a livello fondamentale non esiste una

variabile speciale.

La teoria non descrive come evolvono le cose *nel tempo*. La teoria descrive come cambiano le cose *le une rispetto alle altre*,⁸⁷ come accadono i fatti del mondo gli uni in relazione agli altri. Tutto qui.

Bryce e John ci hanno lasciato da qualche anno. Li ho conosciuti entrambi, e ho avuto per entrambi profondo rispetto e ammirazione. Nel mio studio all'università a Marsiglia tengo appesa al muro una lettera che John Wheeler mi ha scritto quando ha saputo dei miei primi lavori in gravità quantistica. Ogni tanto la rileggo, con un misto di orgoglio e nostalgia. Avrei voluto chiedergli più cose, nei nostri pochi incontri. L'ultima volta che sono andato a trovarlo, a Princeton, abbiamo fatto una lunga passeggiata. Mi parlava con la voce tenue di un anziano, io perdevo molte delle cose che diceva e non osavo chiedergli troppo di ripetere. Ora non c'è più. Non posso più fargli domande, non posso più raccontargli quello che penso. Non posso più dirgli che mi sembra che le sue idee fossero quelle giuste, che le sue idee hanno guidato tutta una mia vita di ricerca. Non posso più dirgli che penso che lui sia stato il primo ad avvicinarsi al cuore del mistero del tempo in gravità quantistica. Perché lui, qui e ora, non c'è più. Questo è il tempo per noi. Il ricordo e la nostalgia. Il dolore dell'assenza.

Ma non è l'assenza che provoca dolore. Sono l'affetto e l'amore. Se non ci fosse affetto, se non ci fosse amore, non ci sarebbe il dolore dell'assenza. Per questo anche il dolore dell'assenza, in fondo, è buono e bello, perché si nutre di quello che dà senso alla vita.

Bryce l'ho conosciuto a Londra la prima volta che sono andato a trovare un gruppo di gravità quantistica. Ero ragazzino, affascinato da questa materia arcana di cui in Italia non si occupava nessuno; lui era un grande guru della cosa. Ero andato all'Imperial College per incontrare Chris Isham, e quando sono arrivato mi hanno detto che era sulla terrazza all'ultimo piano: a un tavolino erano seduti Chris Isham, Karel

Kuchar e Bryce DeWitt, cioè i tre principali autori sulle cui idee avevo studiato durante gli anni precedenti. Ricordo l'impressione intensa di vederli lì, discutere fra loro serenamente, attraverso il vetro. Non osavo andare ad interromperli. Mi sembravano tre grandi maestri Zen che si scambiavano insondabili verità attraverso misteriosi sorrisi. Probabilmente stavano solo decidendo dove andare a cena. Ci ripenso e mi rendo conto che allora erano più giovani di quanto non sia io adesso. Anche questo è il tempo. Uno strano ribaltatore di prospettive. Poco prima di morire Bryce ha rilasciato una lunga intervista in Italia, raccolta in un piccolo libro,⁸⁸ solo lì mi sono reso conto che seguiva i miei lavori con molta più attenzione e simpatia di quanto io avessi mai immaginato dalle nostre conversazioni, dove esprimeva più critiche che incoraggiamenti.

John e Bryce sono stati per me padri spirituali. Assetato, ho trovato nelle loro idee acqua fresca, nuova e limpida da bere. Grazie John, grazie Bryce. Noi esseri umani viviamo di emozioni e pensieri. Ce li scambiamo quando siamo nello stesso luogo e nello stesso tempo, parlandoci, guardandoci negli occhi, sfiorandoci la pelle. Ci nutriamo di questa rete di incontri e scambi, anzi *siamo* questa rete di incontri e scambi. Ma in realtà non abbiamo bisogno di essere nello stesso luogo e nello stesso tempo, per questi scambi. Pensieri e emozioni che ci legano gli uni agli altri non hanno difficoltà ad attraversare mari e decenni, talvolta perfino secoli. Legati a esili fogli di carta oppure danzanti fra i microchip di un computer. Siamo parte di una rete che va molto al di là dei pochi giorni della nostra vita, dei pochi metri quadrati dove muoviamo i nostri passi. Anche questo libro è un filo della trama...

Mi sono perso a parlare d'altro. La nostalgia di John e di Bryce mi ha fuorviato. Tutto quello che volevo dire in questo capitolo è che loro hanno trovato la forma semplicissima della struttura dell'equazione che descrive la dinamica del mondo. La dinamica del mondo è data dall'equazione che stabilisce quali relazioni ci sono fra tutte le variabili che lo descrivono. Tutte

sullo stesso piano. Descrive gli accadimenti possibili, le correlazioni possibili fra di essi. Null'altro.

È la forma elementare della meccanica del mondo, e non ha bisogno di parlare di «tempo». Il mondo senza variabile tempo non è un mondo complicato.

È una rete di eventi interconnessi, dove le variabili in gioco rispettano regole probabilistiche, che incredibilmente sappiamo in gran parte scrivere. È un mondo terso, ventoso e pieno di bellezza come le cime delle montagne, come la bellezza arida delle labbra screpolate delle adolescenti.

Eventi quantistici elementari e reti di spin

Le equazioni della gravità quantistica a loop,⁸⁹ su cui lavoro, sono una versione moderna della teoria di Wheeler e DeWitt. Non c'è variabile tempo in queste equazioni.

Le variabili della teoria descrivono i campi che formano la materia usuale, fotoni, elettroni, altri componenti degli atomi, e il campo gravitazionale – sullo stesso piano degli altri. La teoria dei loop non è una «teoria unificata» di tutto. Non ci pensa neppure a pretendere di essere la teoria finale della scienza. È una teoria fatta di pezzi coerenti ma distinti, che vuole «solo» essere una descrizione *coerente* del mondo come lo abbiamo compreso fin qui.

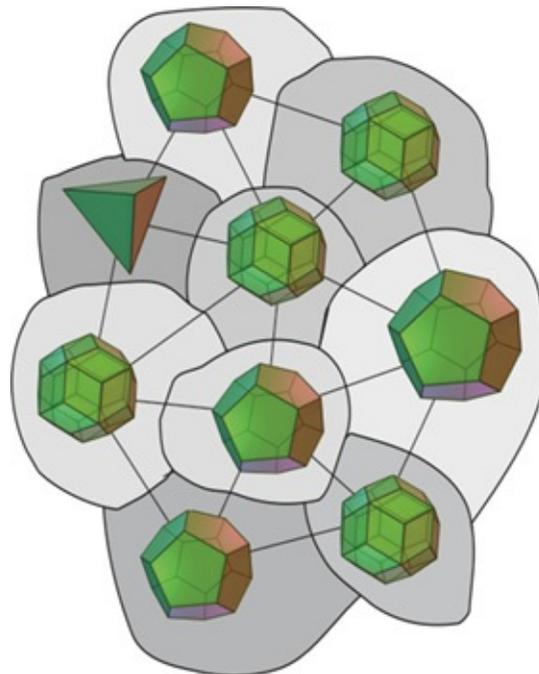
I campi si manifestano in forma granulare: particelle elementari, fotoni e quanti di gravità, ovvero «quanti di spazio». Questi grani elementari non vivono immersi nello spazio: formano essi stessi lo spazio. Meglio: la spazialità del mondo è la rete delle loro interazioni. Non vivono nel tempo: interagiscono incessantemente gli uni con gli altri, anzi esistono solo in quanto termini di incessanti interazioni; e questo interagire è l'accadere del mondo: è la forma minima elementare del tempo, che non è né orientata, né organizzata in una linea, né in una geometria curva e liscia come quelle studiate da Einstein. È un interagire reciproco dove i quanti si

attualizzano nell'atto stesso di interagire, rispetto a ciò con cui interagiscono.

La dinamica di queste interazioni è probabilistica. Le probabilità che qualcosa accada - dato l'accadere di qualcos'altro - sono in linea di principio calcolabili con le equazioni della teoria.

Non possiamo disegnare una mappa completa, una geometria completa, degli accadimenti del mondo, perché gli accadimenti, e tra questi il passaggio del tempo, sono sempre solo attuati in un'interazione e rispetto a un sistema fisico coinvolto nell'interazione. Il mondo è come un insieme di punti di vista in relazione gli uni con gli altri; «il mondo visto dal di fuori» è un nonsenso, perché non c'è un «fuori» dal mondo.

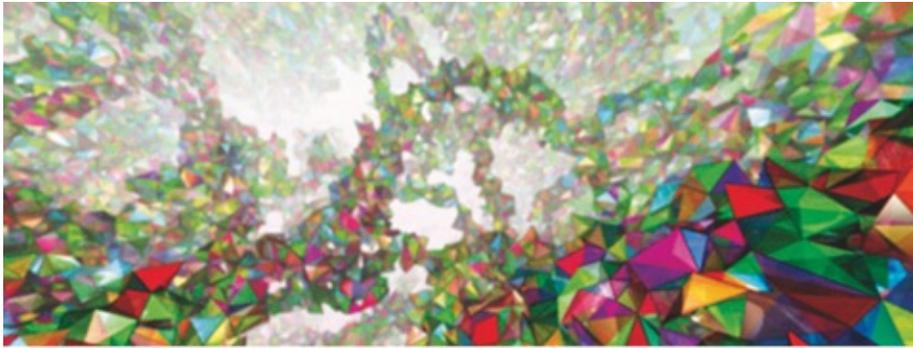
I *quanti* elementari del campo gravitazionale vivono alla scala di Planck. Sono i grani elementari che tessono la tela mobile con cui Einstein ha reinterpretato lo spazio e il tempo assoluti di Newton. Sono questi, e le loro interazioni, a determinare l'estendersi dello spazio e la durata del tempo.



Rappresentazione intuitiva della rete di grani elementari di spazio (o rete di spin).

Le relazioni di adiacenza spaziale legano i grani di spazio in reti. Queste si chiamano «reti di spin». Il nome *spin* viene dalla matematica che descrive i grani di spazio, che è la stessa delle simmetrie dello spazio.⁹⁰ Un anello singolo in una rete di spin si chiama *loop* («anello» in inglese) e questi sono i loop che danno il nome alla teoria. Le reti, a loro volta, si trasformano le une nelle altre in salti discreti, che nella teoria sono descritti come strutture chiamate «schiuma di spin».⁹¹

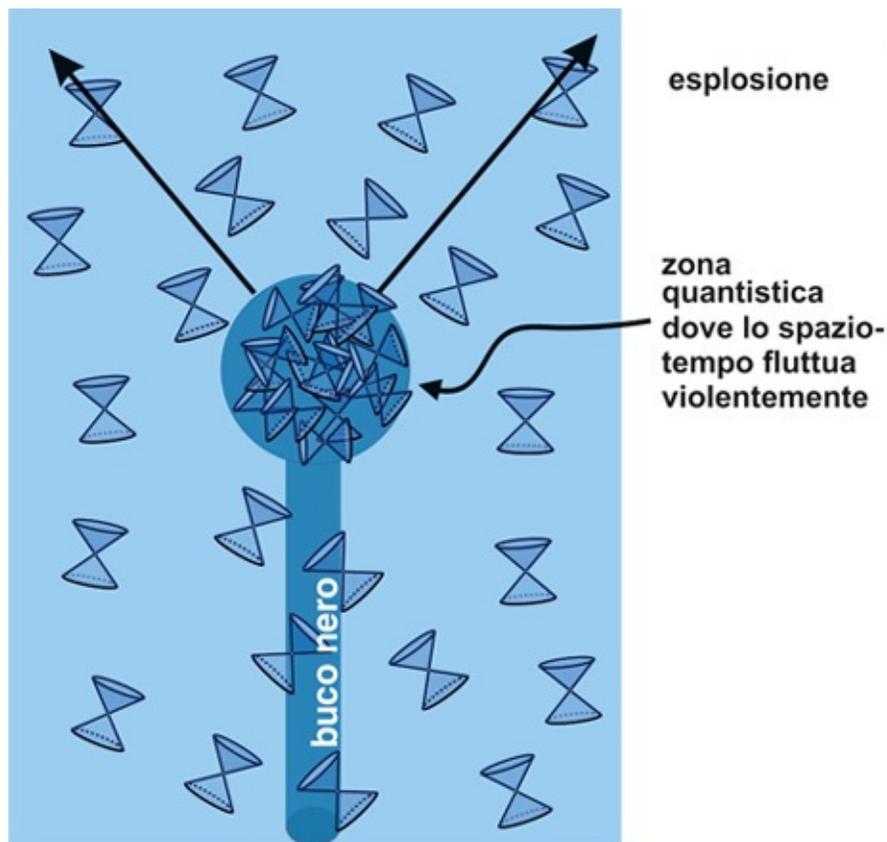
L'accadere di questi salti disegna le trame che a grande scala ci appaiono come la struttura liscia dello spaziotempo. A piccola scala la teoria descrive uno «spaziotempo quantistico» fluttuante, probabilistico e discreto. A questa scala c'è solo il pullulare furibondo dei quanti che appaiono e scompaiono.



Rappresentazione intuitiva della schiuma di spin (*spin foam*).⁹²

Questo è il mondo con cui cerco quotidianamente di fare i conti, nei due sensi dell'espressione. È un mondo inusuale, ma non un mondo senza senso.

Nel mio gruppo di ricerca a Marsiglia, per esempio, stiamo cercando di calcolare il tempo necessario perché un buco nero esploda passando per una fase quantistica.



Nel corso di questa fase, dentro il buco nero e nelle sue immediate vicinanze non c'è più uno spaziotempo singolo e determinato. C'è una sovrapposizione quantistica di reti di spin. Come un elettrone può aprirsi in una nuvola di probabilità fra il momento in cui è emesso e il momento in cui arriva su uno schermo, passando per più di un luogo, così lo spaziotempo del decadimento quantistico di un buco nero passa attraverso una fase dove il tempo fluttua violentemente, c'è una sovrapposizione quantistica di tempi diversi, e poi ritorna determinato più tardi, dopo l'esplosione.

Per questa fase intermedia, dove il tempo è del tutto indeterminato, abbiamo ancora equazioni che ci dicono cosa succede. Equazioni senza tempo.

Questo è il mondo descritto dalla teoria dei loop.

Sono certo che questa sia la giusta descrizione del mondo? Non lo sono, ma è l'unico modo coerente e completo che oggi conosco per pensare lo spaziotempo senza trascurarne le proprietà quantistiche. La gravità quantistica a loop dimostra che scrivere una teoria coerente senza spazio e tempo fondamentali – e ciò nonostante usarla per fare predizioni qualitative – è possibile.

In una teoria di questo genere, spazio e tempo non sono più contenitori o forme generali del mondo. Sono approssimazioni di una dinamica quantistica che di per sé non conosce né spazio né tempo. Solo eventi e relazioni. È il mondo senza tempo della fisica elementare.

[82](#). La forma generale di una teoria meccanica che descrive l'evoluzione di un sistema *nel tempo* è data da uno spazio delle fasi e un'hamiltoniana H . L'evoluzione è descritta dalle orbite generate da H , parametrizzate dal tempo t . La forma generale di una teoria meccanica che descrive l'evoluzione delle variabili *le une rispetto alle altre*, invece, è data da uno spazio delle fasi e un vincolo C . Le relazioni fra le variabili sono date dalle orbite generate da C nel sottospazio $C = 0$. La parametrizzazione di queste orbite non ha significato fisico. Una discussione tecnica dettagliata è nel capitolo 3 di C. Rovelli, *Quantum Gravity*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004. Per una versione tecnica compatta, si veda C. Rovelli, *Forget Time*, «Foundations of Physics», 41, 2011, pp. 1475-90, <https://arxiv.org/abs/0903.3832>.

[83](#). Un'illustrazione divulgativa delle equazioni della gravità quantistica a loop è in C. Rovelli, *La realtà non è come ci appare*, cit.

[84](#). B.S. DeWitt, *Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory*, «Physical Review», 160, 1967, pp. 1113-48.

[85](#). J.A. Wheeler, *Hermann Weyl and the Unity of Knowledge*, «American Scientist», 74, 1986, pp. 366-75.

[86.](#) J. Butterfield e C.J. Isham, *On the Emergence of Time in Quantum Gravity*, in *The Arguments of Time*, a cura di J. Butterfield, Oxford University Press, Oxford, 1999, pp. 111-68 (<http://philsci-archive.pitt.edu/1914/1/EmergTimeQG=9901024.pdf>). H.-D. Zeh, *Die Physik der Zeitrichtung*, cit. *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*, a cura di C. Callender e N. Huggett, Cambridge University Press, Cambridge, 2001. S. Carroll, *From Eternity to Here*, Dutton, New York, 2010; trad. it. *Dall'eternità a qui*, Adelphi, Milano, 2011.

[87.](#) La forma generale di una teoria quantistica che descrive l'evoluzione di un sistema *nel tempo* è data da uno spazio di Hilbert e un operatore hamiltoniano H . L'evoluzione è descritta dall'equazione di Schrödinger $i\hbar\partial_t\psi = H\psi$. La probabilità di misurare uno stato ψ un tempo t dopo uno stato ψ' è determinata dall'ampiezza $\langle \psi | \exp[-iHt/\hbar] | \psi' \rangle$. La forma generale di una teoria quantistica che descrive l'evoluzione delle variabili *le une rispetto alle altre* è data da uno spazio di Hilbert e un'equazione di Wheeler-DeWitt $C\psi = 0$. La probabilità di misurare uno stato ψ avendo misurato uno ψ' è determinata dall'ampiezza $\langle \psi | \int dt \exp[iCt/\hbar] | \psi' \rangle$. Una discussione tecnica dettagliata è nel capitolo 5 di C. Rovelli, *Quantum Gravity*, cit. Per una versione tecnica compatta, si veda C. Rovelli, *Forget Time*, cit.

[88.](#) B.S. DeWitt, *Sopra un raggio di luce*, Di Renzo, Roma, 2005.

[89.](#) Sono tre: definiscono lo spazio di Hilbert della teoria dove sono definiti gli operatori elementari, i cui autostati descrivono i quanti di spazio e le probabilità di transizione fra questi.

[90.](#) Lo spin è la quantità che enumera le rappresentazioni del

gruppo $SO(3)$, il gruppo di simmetria dello spazio.

[91](#). Questi argomenti sono trattati in dettaglio in C. Rovelli, *La realtà non è come ci appare*, cit.

[92](#). Thomas Thiemann, *Dinamica della schiuma di spin quantistica vista dagli occhi di un artista* © Thomas Thiemann (FAU Erlangen), Max Planck Institute for Gravitational Physics (Albert Einstein Institute), Milde Marketing Science Communication, exozet effects.

PARTE TERZA
LE SORGENTI DEL TEMPO

IL TEMPO È IGNORANZA

Tu non chiedere
l'esito dei miei, dei tuoi giorni,
Leuconoe
- è un segreto sopra di noi -
e non tentare calcoli astrusi (I,
11)

C'è un tempo per nascere e un tempo per morire, un tempo per piangere e un tempo per ballare, un tempo per uccidere e un tempo per guarire. Un tempo per demolire e un tempo per costruire.⁹³ Fin qui, è stato il tempo per demolire il tempo. Ora è tempo di ricostruire il tempo della nostra esperienza. Cercarne le sorgenti. Capire da dove viene.

Se nella dinamica elementare del mondo tutte le variabili sono equivalenti, cos'è quella cosa che noi umani chiamiamo «tempo»? Cosa misura il mio orologio? Cosa scorre sempre in avanti e mai indietro, e perché? Non sarà nella grammatica elementare del mondo, d'accordo, ma cos'è?

Ci sono tante cose che non fanno parte della grammatica elementare del mondo, e semplicemente «emergono» in qualche modo. Per esempio:

- Un gatto non è parte degli ingredienti elementari dell'universo. È qualcosa di complesso, che *emerge*, e si ripete, in varie parti del nostro pianeta.

- Un gruppo di ragazzi su un prato. Si decide una partita. Si fanno le squadre. Noi facevamo così: i due più intraprendenti sceglievano a turno i compagni di squadra, giocandosi a pari e

dispari il diritto di iniziare. Alla fine della solenne procedura, c'erano due squadre. Dov'erano prima della procedura? Da nessuna parte. Sono *emerse* dalla procedura.

- Da dove vengono «alto» e «basso», che ci sono così familiari e non sono nelle equazioni elementari del mondo? Dalla Terra vicino a noi che attira. «Alto» e «basso» sono qualcosa che *emerge* in alcune circostanze dell'universo, come la presenza di una grande massa vicina.

- In alta montagna guardiamo una valle coperta di un mare di nuvole bianche. La superficie delle nuvole riluce candida. Ci incamminiamo verso valle. L'aria si fa più umida, poi velata, il cielo non è più azzurro, ci ritroviamo in una rada nebbia. Dov'è andata la netta superficie delle nubi? Sparita. Il passaggio è graduale, non c'è alcuna *superficie* che separi la nebbia dall'aria tersa delle altezze. Era illusione? No, era visione da lontano. A pensarci bene, è così per *tutte* le superfici. Questo tavolo di marmo compatto lo vedrei come una nebbia, se diventassi piccolo alla scala atomica. Diventano *tutte* sfumate le cose del mondo, viste da vicino. Dove finisce esattamente la montagna e inizia la pianura? Dove finisce il deserto e inizia la savana? Tagliamo il mondo a grosse fette. Lo pensiamo in termini di concetti significativi per noi, che *emergono* a una certa scala.

- Vediamo il cielo ruotare intorno a noi ogni giorno, ma siamo noi a girare. Lo spettacolo quotidiano dell'universo che gira è «illusorio»? No, è reale, ma non riguarda il solo cosmo. Riguarda la *nostra* relazione con sole e stelle. Lo capiamo chiedendoci come ci muoviamo *noi*. Il moto cosmico *emerge* dalla relazione fra noi e il cosmo.

In questi esempi, qualcosa di reale - un gatto, una squadra di calcio, l'alto e il basso, la superficie delle nuvole, il roteare del cosmo - *emerge* da un mondo in cui a un livello più semplice non ci sono né gatti, né squadre, né alto e basso, né superficie delle nuvole, né roteare del cosmo... Il tempo emerge da un mondo senza tempo, in un modo che somiglia a ciascuno di

questi esempi.

La ricostruzione del tempo inizia qui, con due capitoletti, questo e il successivo, brevi e tecnici. Se li trovate un po' troppo ostici, saltate direttamente al capitolo 11. Da lì ci riavviciniamo passo a passo a cose più umane.

Tempo termico

Nella frenesia del mescolamento termico molecolare, variano di continuo tutte le variabili che possono variare.

Una però non varia: l'energia totale che c'è in un sistema (isolato). Fra energia e tempo vi è un legame stretto. Energia e tempo formano una di quelle caratteristiche coppie di quantità che i fisici chiamano «coniugate», come posizione e impulso, oppure orientazione e momento angolare. I due termini di queste coppie sono legati l'uno all'altro. Da un lato, conoscere cosa sia l'energia di un sistema⁹⁴ - come è legata alle altre variabili - è lo stesso che sapere come fluisce il tempo, perché le equazioni di evoluzione nel tempo seguono dalla forma della sua energia.⁹⁵ Dall'altro, l'energia si conserva nel tempo, quindi non può variare, anche quando tutto il resto varia. Nella sua agitazione termica, un sistema⁹⁶ attraversa tutte le configurazioni che hanno la stessa energia, ma solo queste. L'insieme di queste configurazioni - che la nostra sfocata visione macroscopica non distingue - è lo «stato (macroscopico) di equilibrio»: un placido bicchiere di acqua calda.

Il modo consueto di interpretare la relazione fra tempo e stato di equilibrio è pensare che il tempo sia qualcosa di assoluto ed oggettivo; l'energia è ciò che governa l'evoluzione nel tempo; e il sistema in equilibrio mescola le configurazioni di eguale energia. La logica convenzionale per interpretare queste relazioni è quindi:

*tempo → energia → stato macroscopico.*⁹⁷

Ma c'è un altro modo di pensare questa stessa relazione: leggerla al contrario. Cioè osservare che uno stato macroscopico, vale a dire un rimescolamento di variabili che ne preservi qualcuna, o una visione sfocata del mondo, può essere interpretato come mescolamento che preserva un'energia, e questa a sua volta genera un tempo. Cioè:

*stato macroscopico → energia → tempo.*⁹⁸

Quest'osservazione apre una prospettiva nuova: in un sistema fisico elementare in cui *non* ci sia alcuna variabile privilegiata che si comporti come «tempo», dove cioè tutte le variabili siano sullo stesso piano, ma del quale abbiamo una visione sfocata descritta da stati macroscopici, uno stato macroscopico generico *determina* un tempo.

Ripeto il punto, perché è chiave: uno stato macroscopico (che ignora i dettagli) sceglie una variabile particolare, che ha alcune caratteristiche del tempo.

In altre parole, un tempo viene determinato semplicemente da una sfocatura. Boltzmann ha capito che il comportamento del calore viene compreso nei termini di una sfocatura: dal fatto che dentro un bicchiere d'acqua esiste un mare di variabili microscopiche che non vediamo. Il *numero* di possibili configurazioni microscopiche dell'acqua è l'entropia. Ma è vero anche qualcosa di più: la sfocatura stessa determina una variabile particolare, il tempo.

Nella fisica relativistica fondamentale, dove nessuna variabile gioca *a priori* il ruolo di tempo, possiamo ribaltare la relazione fra stato macroscopico e evoluzione nel tempo: non è l'evoluzione nel tempo a determinare lo stato, ma è lo stato, la sfocatura, a determinare un tempo.

Il tempo così determinato da uno stato macroscopico si chiama «tempo termico». In che senso è un tempo? Da un punto di

vista microscopico, non ha niente di speciale, è una variabile come un'altra. Ma dal punto di vista macroscopico, ha una caratteristica cruciale: fra tante variabili tutte sullo stesso piano, il tempo termico è quella che si comporta nel modo più simile alla variabile che chiamiamo usualmente «tempo», perché la sua relazione con gli stati macroscopici è esattamente quella che conosciamo dalla termodinamica.

Ma non è un tempo universale. È determinato da uno stato macroscopico, cioè da una sfocatura, dall'incompletezza di una descrizione. Nel prossimo capitolo discuterò l'origine di questa sfocatura, ma prima facciamo un altro passo, prendendo in considerazione la meccanica quantistica.

Tempo quantistico

Roger Penrose⁹⁹ è fra i più lucidi scienziati che si sono occupati di spazio e tempo. È arrivato alla conclusione che la fisica relativistica non è incompatibile con la nostra sensazione del *fluire* del tempo, ma non sembra sufficiente per renderne conto; ha suggerito che il tassello mancante potrebbe essere quanto avviene in un'interazione quantistica.¹⁰⁰ Alain Connes, grandissimo matematico francese, ha trovato un modo acuto per cogliere il ruolo dell'interazione quantistica alla radice del tempo.

Quando un'interazione rende concreta la *posizione* di una molecola, lo stato della molecola viene alterato. Lo stesso vale per la sua *velocità*. Se viene concretizzata *prima* la velocità e *poi* la posizione, lo stato della molecola cambia *in modo diverso* da come farebbe se i due eventi avvenissero in ordine inverso. L'ordine conta. Se misuro prima la posizione di un elettrone e poi la velocità, cambio il suo stato in modo diverso che non se misurassi prima la velocità e poi la posizione.

Questa si chiama «non-commutatività» delle variabili quantistiche, perché posizione e velocità «non commutano», cioè non si possono scambiare di posto impunemente. La non-

commutatività è uno dei fenomeni caratteristici della meccanica quantistica. La non-commutatività determina un ordine, e quindi un germe di temporalità, nella determinazione di due variabili fisiche. Determinare una variabile fisica non è un'operazione innocua, è interagire. L'effetto di queste interazioni dipende dal loro ordine, e questo ordine è una forma primitiva di ordine temporale.

Forse è proprio il fatto che l'effetto delle interazioni dipenda dall'ordine della loro successione a essere una radice dell'ordine temporale del mondo. Questa è l'idea affascinante suggerita da Connes: il germe primo della temporalità nelle transizioni quantistiche elementari sta nel fatto che queste sono naturalmente (parzialmente) ordinate.

Connes ha dato una raffinata versione matematica di quest'idea: ha mostrato che una specie di flusso temporale è definito implicitamente dalla non-commutatività delle variabili fisiche. A causa di questa non-commutatività l'insieme delle variabili fisiche di un sistema definisce una struttura matematica chiamata «algebra di Von Neumann non-commutativa», e Connes ha dimostrato che queste strutture hanno in sé un flusso implicitamente definito.¹⁰¹

Cosa sorprendente, la relazione tra il flusso definito da Alain Connes per i sistemi quantistici e il tempo termico è strettissima: Connes ha mostrato che in un sistema quantistico i flussi termici determinati da stati macroscopici diversi sono equivalenti a meno di certe simmetrie interne,¹⁰² e insieme formano precisamente il flusso di Connes.¹⁰³ In parole più semplici: il tempo determinato dagli stati macroscopici e il tempo determinato dalla non-commutatività quantistica sono aspetti dello stesso fenomeno.

È questo tempo termico - e quantistico -, io credo,¹⁰⁴ la variabile che noi chiamiamo «tempo» nel nostro universo reale, dove una variabile tempo non esiste a livello fondamentale.

L'indeterminazione quantistica intrinseca nelle cose produce una sfocatura, come la sfocatura di Boltzmann, la quale fa sì

che - contrariamente a quanto sembrava indicare la fisica classica - l'imprevedibilità nel mondo resterebbe anche se potessimo misurare ora tutto il misurabile.

Entrambe le sorgenti di sfocatura - quella dovuta al fatto che i sistemi fisici sono composti di ziloni di molecole, e quella dovuta all'indeterminazione quantistica - sono al cuore del tempo. La temporalità è legata profondamente alla sfocatura. La sfocatura è il fatto che siamo ignoranti dei dettagli microscopici del mondo. Il tempo della fisica, in ultima analisi, è l'espressione della nostra ignoranza del mondo. Il tempo è l'ignoranza.

Alain Connes ha scritto, insieme a due amici, un piccolo romanzo fantascientifico. Charlotte, la protagonista, riesce per un momento ad avere intera l'informazione sul mondo, senza sfocature.

Charlotte arriva a «vedere» direttamente il mondo al di là del tempo: «Ho avuto la fortuna inaudita di sperimentare una percezione globale del mio essere, non in un momento particolare della sua esistenza, ma come un "tutto". Ho potuto paragonare la sua finitezza nello spazio, contro la quale nessuno insorge, e la sua finitezza nel tempo, che invece ci scandalizza tanto».

Per poi rientrare nel tempo: «Ho avuto l'impressione di perdere tutta l'informazione infinita prodigata dalla scena quantistica, e questa perdita bastava a trascinarci irresistibilmente nel fiume del tempo». L'emozione che ne nasce è un'emozione del tempo: «Questa emergenza del tempo mi è sembrata come un'intrusione, una sorgente di confusione mentale, di angoscia, di paura, di dissociazione». ¹⁰⁵

La nostra immagine sfocata e indeterminata della realtà determina una variabile, il tempo termico, che si trova ad avere alcune proprietà peculiari, le quali cominciano a somigliare a

ciò che chiamiamo «tempo»: è nella corretta relazione con gli stati di equilibrio.

Il tempo termico è legato alla termodinamica, quindi al calore, ma non somiglia ancora al tempo della nostra esperienza perché non distingue fra passato e futuro, è senza orientazione, senza ciò che attribuiamo al fluire. Non siamo ancora al tempo della nostra esperienza.

La distinzione fra passato e futuro, che tanto ci sta a cuore, da dove viene?

[93](#). Cfr. *Qo*, 3, 2-4.

[94](#). Più precisamente, l'hamiltoniana H , cioè l'energia come funzione delle posizioni e velocità.

[95](#). $dA/dt = \{A, H\}$, dove $\{ , \}$ sono le parentesi di Poisson e A è qualunque variabile.

[96](#). Ergodico.

[97](#). Le equazioni sono più leggibili nel formalismo canonico di Boltzmann che nel microcanonico a cui faccio riferimento nel testo: lo stato $\rho = \exp[-H/kT]$ è determinato dall'hamiltoniana H che genera l'evoluzione nel tempo.

[98](#). $H = -kT \log[\rho]$ determina un'hamiltoniana (a meno di una costante moltiplicativa), e attraverso questa un tempo «termico», a partire dallo stato ρ .

[99](#). R. Penrose, *The Emperor's New Mind*, Oxford University Press, Oxford, 1989 (trad. it. *La mente nuova dell'imperatore*, Rizzoli, Milano, 1992); *The Road to Reality*, Cape, London, 2004 (trad. it. *La strada che porta alla realtà*, Rizzoli, Milano, 2005).

[100](#). Nel linguaggio convenzionale dei libri di meccanica quantistica si dice «misura». Ancora una volta: quello che è fuorviante in questo linguaggio è che parla dei laboratori di fisica invece di parlare del mondo.

[101](#). Il teorema di Tomita-Takesaki mostra che uno stato su un'algebra di Von Neumann definisce un flusso (una famiglia a un parametro di automorfismi modulari). Connes ha mostrato che i flussi definiti da stati diversi sono equivalenti a meno di automorfismi interni e quindi definiscono un flusso astratto determinato *solamente* dalla struttura non-commutativa dell'algebra.

[102](#). Gli automorfismi interni dell'algebra citati nella nota precedente.

[103](#). In un'algebra di Von Neumann il tempo termico di uno stato è esattamente il flusso di Tomita! Lo stato è KMS rispetto a questo flusso.

[104](#). Si veda C. Rovelli, *Statistical Mechanics of Gravity and the Thermodynamical Origin of Time*, «Classical and Quantum Gravity», 10, 1993, pp. 1549-66; A. Connes e C. Rovelli, *Von Neumann Algebra Automorphisms and Time-Thermodynamics Relation in General Covariant Quantum Theories*, «Classical and Quantum Gravity», 11, 1994, pp. 2899-918.

[105](#). A. Connes, D. Chéreau e J. Dixmier, *Le Théâtre quantique*, Odile Jacob, Paris, 2013; trad. it. *La punta dell'ago*, Carocci, Roma, 2015, pp. 129-30.

10
PROSPETTIVA

Nella notte impenetrabile
della sua saggezza
un dio chiude
la striscia dei giorni
che verranno
e ride
del nostro umano trepidare (III,
29)

Tutta la differenza fra passato e futuro si può far risalire al solo fatto che l'entropia del mondo era bassa nel passato.¹⁰⁶ Perché l'entropia era bassa nel passato?

In questo capitolo racconto un'idea per una possibile risposta, «se si vuol prestare ascolto alla mia risposta a questa domanda e alla sua supposizione forse stravagante».¹⁰⁷ Non sono sicuro sia la risposta giusta, ma è un'idea di cui mi sono innamorato.¹⁰⁸ Potrebbe chiarire molte cose.

Siamo noi a girare!

Qualunque cosa siamo nel dettaglio noi esseri umani, siamo comunque pezzi della natura, un tassello nel grande affresco del cosmo, un piccolo tassello fra tanti altri.

Fra noi e il resto del mondo ci sono interazioni fisiche. Ovviamente non *tutte* le variabili del mondo interagiscono con noi o con il pezzo di mondo a cui apparteniamo. Solo una minutissima frazione di queste variabili lo fa; la maggior parte

non interagisce affatto con noi. Non ci vede e non la vediamo. Per questo configurazioni distinte del mondo sono per noi equivalenti. L'interazione fisica fra me e un bicchiere d'acqua - due pezzi di mondo - è indipendente dai dettagli del moto delle singole molecole d'acqua. Nello stesso modo, l'interazione fisica fra me e una galassia lontana - due pezzi di mondo - ignora cosa succeda nel dettaglio lassù. Quindi la nostra visione del mondo è sfocata. Perché le interazioni fisiche fra noi e la parte del mondo a cui accediamo e apparteniamo sono cieche a molte variabili.

Questa sfocatura è al cuore della teoria di Boltzmann.¹⁰⁹ Dalla sfocatura nascono i concetti di calore e entropia, e a questi sono legati i fenomeni che caratterizzano il fluire del tempo. L'entropia di un sistema, in particolare, dipende esplicitamente dalla sfocatura. Dipende da cosa *non* vedo, perché dipende dal numero di configurazioni *indistinguibili*. Una *stessa* configurazione microscopica può essere di alta entropia rispetto a una sfocatura, di bassa rispetto a un'altra. La sfocatura a sua volta non è un costrutto mentale: dipende dall'interazione fisica reale, quindi l'entropia di un sistema dipende dall'interazione fisica con il sistema.¹¹⁰

Questo non significa che l'entropia sia una quantità arbitraria o soggettiva. Significa che è una quantità *relativa*, come la velocità. La velocità di un oggetto non è una proprietà dell'oggetto da solo: è una proprietà dell'oggetto rispetto a un altro. La velocità di un bambino che scorrazza su un treno in corsa ha un valore rispetto al treno (qualche passo al secondo) e un valore diverso rispetto alla Terra (cento chilometri all'ora). Se la mamma dice al bimbo «stai fermo!», non intende che deve buttarsi dal finestrino per fermarsi *rispetto alla Terra*. Intende che deve stare fermo *rispetto al treno*. La velocità è una proprietà di un corpo *rispetto a un altro corpo*. Una quantità *relativa*.

Lo stesso è per l'entropia. L'entropia di A rispetto a B conta il numero di configurazioni di A che le interazioni *fisiche* fra A e B non distinguono.

Chiarito questo punto, che molto spesso genera confusione, si apre una seducente soluzione al mistero della freccia del tempo.

L'entropia *del mondo* non dipende *solo* dalla configurazione del mondo; dipende *anche* da come stiamo sfocando il mondo, e questo dipende da quali sono le variabili del mondo con cui interagiamo *noi*, cioè la parte del mondo a cui apparteniamo.

L'entropia iniziale del mondo ci appare molto bassa. Ma questo non riguarda l'esatto stato del mondo: riguarda il sottoinsieme di variabili del mondo con cui *noi*, come sistemi fisici, abbiamo interagito. È rispetto alla drammatica sfocatura prodotta dalle *nostre* interazioni con il mondo, rispetto al piccolo insieme di variabili macroscopiche nei termini delle quali *noi* descriviamo il mondo, che l'entropia dell'universo era bassa.

Questo, che è un *fatto*, apre la possibilità che non sia l'universo a essere stato in una configurazione molto peculiare nel passato: forse siamo noi, e le nostre interazioni con l'universo, a essere particolari. Siamo noi a determinare una descrizione macroscopica peculiare. La bassa entropia iniziale dell'universo, e quindi la freccia del tempo, potrebbe essere dovuta a *noi*, più che all'universo. Questa è l'idea.

Pensate a uno dei fenomeni più evidenti e grandiosi, la rotazione diurna del cielo. È la caratteristica più immediata e magnifica dell'universo attorno a noi: gira. Ma è davvero una caratteristica dell'universo quella di girare? No. Ci abbiamo messo millenni, ma alla fine l'abbiamo capita la rotazione del cielo: abbiamo capito che siamo *noi* a ruotare, non l'universo. Il girare del cielo è un effetto di prospettiva dovuto al nostro particolare modo di muoverci, non a qualche misteriosa proprietà della dinamica dell'universo.

Per la freccia del tempo potrebbe essere la stessa cosa. La bassa entropia iniziale dell'universo potrebbe essere dovuta al modo particolare con cui noi - il sistema fisico di cui siamo parte - interagiamo con l'universo. Noi siamo sintonizzati su un sottoinsieme molto particolare di aspetti dell'universo, ed è

questo a essere orientato nel tempo.

Come può una particolare interazione fra noi e il resto del mondo determinare una bassa entropia iniziale?

Semplice. Prendete un mazzo di 12 carte, 6 rosse e 6 nere. Ordinatelo con le 6 carte rosse davanti. Mescolate un po' e poi cercate le carte nere finite fra le prime 6 nel mescolare. Prima di mescolare non ce n'è nessuna; mescolando, crescono. È un esempio minimo di crescita dell'entropia. All'inizio del gioco, il numero di carte nere fra le prime 6 è zero (l'entropia è bassa) perché il gioco è iniziato in una configurazione *speciale*.

Ma facciamo un gioco diverso. Mescolate le carte in modo arbitrario, poi *guardate* le prime 6 carte del mazzo e imparatele a memoria. Mescolate un po' e poi cercate *altre* carte finite fra le prime 6. All'inizio non ce n'era nessuna, poi questo numero cresce, come prima, e come l'entropia. Ma c'è una differenza cruciale rispetto al caso precedente: all'inizio le carte erano in una configurazione *qualunque*. Siete *voi* che le avete dichiarate particolari, vedendole davanti al mazzo all'inizio del gioco.

Lo stesso potrebbe essere per l'entropia dell'universo: forse l'universo non era in una configurazione particolare. Forse siamo noi che apparteniamo a un sistema fisico rispetto a cui quello stato era particolare.

Ma perché dovrebbe esserci un tale sistema fisico, rispetto al quale la configurazione iniziale dell'universo risulti speciale? Perché nell'immensità dell'universo i sistemi fisici sono innumerevoli, e interagiscono gli uni con gli altri in modi ancora più innumerevoli. Fra tutti, per lo sterminato gioco delle probabilità e dei grandi numeri, ce ne sarà quasi certamente qualcuno che interagisce con il resto dell'universo *proprio* con quelle variabili che si trovavano ad avere un valore peculiare nel passato.

Che ci siano sottoinsiemi «speciali», in un universo vastissimo come il nostro, non è cosa che sorprende. Non sorprende che *qualcuno* vinca la lotteria: c'è qualcuno che la vince ogni

settimana. È innaturale pensare che l'universo intero sia stato in una configurazione incredibilmente «speciale» nel passato, ma non c'è nulla di innaturale nell'immaginare che l'universo abbia parti «speciali».

Se un sottoinsieme dell'universo è speciale in questo senso, allora per *questo* sottoinsieme l'entropia dell'universo è bassa nel passato, vale la seconda legge della termodinamica, esistono memoria, tracce, può esserci evoluzione, vita, pensiero, eccetera.

In altre parole, se nell'universo c'è qualcosa di simile - e mi sembra naturale possa esserci -, noi apparteniamo a questo qualcosa. Qui «noi» significa l'insieme di variabili fisiche a cui abbiamo comunemente accesso, con cui descriviamo l'universo. Forse, quindi, il fluire del tempo non è una caratteristica dell'universo: come il roteare della volta stellata, è la prospettiva particolare dall'angolo di mondo a cui apparteniamo.

Ma perché *noi* dovremmo appartenere *proprio* a uno di *questi* sistemi speciali?

Per lo stesso motivo per il quale le mele crescono *proprio* nel Nord dell'Europa dove la gente beve il sidro, mentre l'uva cresce *proprio* al Sud, dove la gente beve vino; o per il quale dove io sono nato le persone parlano *proprio* la mia lingua, o per il quale il sole che ci scalda è *proprio* alla giusta distanza da noi, né troppo lontano né troppo vicino. In tutti questi casi, la «strana» coincidenza viene dal confondere il verso delle relazioni causali: non è che le mele crescono dove la gente beve sidro, è che la gente beve sidro dove crescono le mele. Messa così, non c'è nessuna stranezza.

Similmente, nella sterminata varietà dell'universo può accadere che ci siano sistemi fisici che interagiscono con il resto del mondo attraverso quelle particolari variabili che definiscono una bassa entropia iniziale. Rispetto a *questi* sistemi l'entropia è in costante aumento. Lì, non altrove, ci sono i fenomeni tipici del fluire del tempo, è possibile la vita,

l'evoluzione, i nostri pensieri e la nostra consapevolezza del fluire del tempo. Lì ci sono le mele che producono il nostro sidro: il tempo. Quel succo dolce, che contiene ambrosia e fiele, che è la vita.

Indicalità

Quando facciamo scienza, vogliamo descrivere il mondo nel modo più oggettivo possibile. Cerchiamo di eliminare storture e illusioni ottiche che vengono dal nostro punto di vista. La scienza ambisce all'obiettività. A un punto di vista comune dove ci possiamo trovare d'accordo.

Questo è ottimo, ma bisogna fare attenzione a quanto si perde ignorando il punto di vista di chi osserva. Nella sua ansia di oggettività, la scienza non deve dimenticare che la nostra esperienza del mondo è dall'interno. Ogni sguardo che posiamo sul mondo è comunque da una prospettiva particolare.

Tenere conto di questo fatto chiarisce molte cose. Per esempio chiarisce la relazione fra quello che dice una carta geografica e quello che vediamo. Per confrontare una carta geografica con quello che vediamo dobbiamo aggiungere un'informazione cruciale: riconoscere sulla carta il punto in cui siamo. La carta non sa dove siamo noi, a meno che non sia fissata in un luogo della regione che rappresenta, come le carte dei sentieri che stanno nei paesi di montagna e hanno un punto rosso con scritto: «Voi siete qui».

Che è una strana frase, perché cosa ne sa la carta di dove siamo noi? Magari stiamo guardandola con un cannocchiale da lontano. Sulla carta dovrebbe esserci scritto piuttosto: «Io, carta, sono qui», e una freccia al punto rosso. Ma forse suonerebbe un po' strano: come può la carta dire «io»? Si potrebbe mascherare con una frase meno vistosa. Tipo: «Questa carta è qui», e freccia al punto rosso. Ma anche così c'è qualcosa di curioso in un testo che fa riferimento a se stesso. Cosa c'è di curioso?

C'è quella che i filosofi chiamano «indicalità». L'indicalità è la caratteristica che hanno certe particolari parole di avere un significato diverso ogni volta che sono usate. Un significato che è determinato da dove, come, quando, da chi sono pronunciate. Parole come «qui», «adesso», «io», «questo», «stasera»... prendono un significato diverso a seconda del soggetto che le pronuncia e delle circostanze in cui sono pronunciate. «Io mi chiamo Carlo Rovelli» è una frase vera se la dico io, ma di solito falsa se la dice un altro. «Adesso è il 12 settembre 2016» è una frase vera nel momento in cui la sto scrivendo, falsa fra poche ore. Queste frasi indicali fanno riferimento esplicito al fatto che esiste un punto di vista, un punto di vista che è ingrediente di ogni descrizione del mondo osservato.

Se diamo una descrizione del mondo che ignora i punti di vista, che è unicamente «dal di fuori», dello spazio, del tempo, di un soggetto, possiamo dire molte cose, ma perdiamo alcuni aspetti cruciali del mondo. Perché il mondo che ci è dato è il mondo visto da dentro, non il mondo visto da fuori.

Molte cose del mondo che vediamo si capiscono se teniamo conto dell'esistenza del punto di vista. Diventano incomprensibili se non ne teniamo conto. In ogni esperienza, noi siamo localizzati nel mondo: dentro una mente, un cervello, un luogo dello spazio, un momento del tempo. Questa nostra localizzazione nel mondo è essenziale per comprendere la *nostra* esperienza del tempo. Non bisogna cioè confondere le strutture temporali che sono nel mondo «visto da fuori» con gli aspetti del mondo che osserviamo, i quali dipendono dal nostro esserne parte e dalla nostra localizzazione in esso.¹¹¹

Per usare una carta geografica, non basta guardarla da fuori, bisogna sapere dove siamo nella rappresentazione data dalla carta. Per capire la nostra esperienza dello spazio, non basta pensare allo spazio di Newton, bisogna ricordarci che noi questo spazio lo vediamo da dentro, ci siamo localizzati. Per capire il tempo, non è sufficiente pensarlo da fuori: bisogna capire come *noi*, in ogni istante della nostra esperienza, siamo localizzati nel tempo.

Osserviamo l'universo dall'interno, interagendo con una minuscola porzione delle innumerevoli variabili del cosmo. Ne vediamo un'immagine sfocata. Questa sfocatura implica che la dinamica dell'universo con cui interagiamo sia governata dall'entropia, che misura l'entità della sfocatura. Misura qualcosa che riguarda noi, più che il cosmo.



L'uomo universale al centro del cosmo nel *Liber Divinorum Operum* di Ildegarda di Bingen (1164 -1170).¹¹²

Ci stiamo pericolosamente avvicinando a noi stessi. Sembra già di sentire Tiresia, nell'*Edipo*, che gli dice: «Fermati! O troverai te stesso»... O Ildegarda di Bingen, che nel XII secolo cerca l'assoluto e finisce per mettere «l'uomo universale» al centro del cosmo.

Ma prima di arrivare a questo «noi» serve ancora un capitolo, il prossimo, per illustrare come l'aumento dell'entropia - forse quindi solo un fenomeno di prospettiva - possa dare origine

all'intera vasta fenomenologia del tempo.

Riassumo il ruvido percorso degli ultimi due capitoli, sperando di non avere già perso tutti i miei lettori: a livello fondamentale il mondo è un insieme di accadimenti *non* ordinati nel tempo. Questi realizzano relazioni fra variabili fisiche che sono *a priori* sullo stesso piano. Ciascuna parte del mondo interagisce con una piccola parte di tutte le variabili, il cui valore determina «lo stato del mondo rispetto a questo sottosistema».

Per ogni parte di mondo ci sono quindi configurazioni del resto del mondo indistinguibili. L'entropia le conta. Gli stati con più configurazioni indistinguibili sono più frequenti, e quindi gli stati di massima entropia sono quelli che genericamente descrivono «il resto del mondo» visto da un sottosistema. In maniera naturale, a questi stati è associato un flusso rispetto al quale appaiono in equilibrio. Il parametro di questo flusso è il tempo termico.

Fra le innumerevoli parti del mondo, ce ne saranno di particolari per le quali gli stati associati ad una estremità del tempo termico hanno *poche* configurazioni. Per *questi* sistemi il flusso non è simmetrico; l'entropia aumenta. Questa crescita è ciò che noi sentiamo come fluire del tempo.

Non sono certo si tratti di una storia plausibile, ma non ne conosco di migliori. L'alternativa è accettare come un dato di osservazione il fatto che l'entropia fosse bassa all'inizio della vita dell'universo, e fermarsi lì.¹¹³

È la legge $\Delta S \geq 0$ enunciata da Clausius, che Boltzmann ha iniziato a decifrare, che ci conduce. Dopo averla persa andando alla ricerca delle leggi generali del mondo, la ritroviamo come possibile effetto di prospettiva per sottosistemi particolari. Ripartiamo da qui.

[106](#). Ci sono molti aspetti confusi di questa questione. Un'ottima e serrata critica è in J. Earman, *The «Past Hypothesis»: Not Even False*, «Studies in History and Philosophy of Modern Physics», 37, 2006, pp. 399-430. Nel testo «bassa entropia iniziale» è inteso nel senso più generale, che, come argomenta Earman in questo articolo, è tutt'altro che ben compreso.

[107](#). F. Nietzsche, *La gaia scienza*, in *Opere*, vol. V/ii, Adelphi, Milano, 1965, seconda ediz. riveduta, 1991, 354, p. 258.

[108](#). I dettagli tecnici sono in C. Rovelli, *Is Time's Arrow Perspectival?* (2015), in *The Philosophy of Cosmology*, a cura di K. Chamcham, J. Silk, J.D. Barrow e S. Saunders, Cambridge University Press, Cambridge, 2017, <https://arxiv.org/abs/1505.01125>.

[109](#). Nella formulazione classica della termodinamica, descriviamo un sistema specificandone per prima cosa alcune variabili su cui assumiamo di poter agire dall'esterno (muovendo un pistone, per esempio) o che assumiamo di poter misurare (una concentrazione relativa di componenti, per esempio). Queste sono le «variabili termodinamiche». La termodinamica non è una vera descrizione del sistema; è una descrizione del comportamento di *queste* variabili del sistema. Quelle attraverso le quali assumiamo di poter interagire con il sistema.

[110](#). Per esempio l'entropia dell'aria di questa stanza ha un valore se tratto l'aria come un gas omogeneo, ma cambia (diminuisce) se ne misuro la composizione chimica.

[111](#). Una filosofa contemporanea che ha messo in luce con profondità questi aspetti prospettici del mondo è Jenann T. Ismael in *The Situated Self* (Oxford University Press, New York, 2007). Ismael ha scritto anche un ottimo libro sul libero

arbitrio: *How Physics Makes Us Free* (Oxford University Press, New York, 2016).

[112](#). Hildegard von Bingen, *Liber Divinorum Operum*, Codex Latinus 1942 (XIII sec.), c. 9r, Biblioteca Statale di Lucca © Foto Scala Firenze - su concessione Ministero Beni e Attività Culturali.

[113](#). David Z. Albert (*Time and Chance*, Harvard University Press, Cambridge, 2000) propone di elevare questo fatto a legge naturale, e la chiama *past hypothesis*.

COSA EMERGE DA UNA PECULIARITÀ

Perché il pino alto
 e il pallido pioppo
 intrecciano i rami
 a darci quest'ombra
 dolcissima?
 Perché l'acqua fuggente
 inventa lucide spire
 nel tortuoso ruscello? (II, 9)

È l'entropia, non l'energia, a trascinare il mondo

A scuola mi avevano detto che è l'energia che fa girare il mondo. Dobbiamo procurarci energia, per esempio dal petrolio, dal sole o dall'energia nucleare. L'energia fa girare i motori, crescere le piante e ci fa svegliare al mattino pieni di vita.

Ma c'è qualcosa che non torna. L'energia - mi hanno pure detto a scuola - si conserva. Non si crea e non si distrugge. Se si conserva, che bisogno abbiamo di procurarcene sempre di nuova? Perché non usiamo sempre la stessa? La verità è che di energia ce n'è in abbondanza e non si consuma. Non è di energia che ha bisogno il mondo per andare avanti. È di bassa entropia.

L'energia (meccanica, chimica, elettrica o potenziale) si trasforma in energia termica, cioè in calore, va nelle cose fredde, e da lì non c'è più modo di riportarla indietro gratuitamente e riusarla di nuovo per far crescere una pianta o girare un motore. In questo processo l'energia resta la stessa, ma l'entropia aumenta, ed è *questa* a non tornare indietro. È il secondo principio della termodinamica che la consuma.

A far girare il mondo non sono le sorgenti di energia, sono le sorgenti di bassa entropia. Senza bassa entropia, l'energia si diluirebbe in calore uniforme e il mondo andrebbe al suo stato di equilibrio termico, dove non c'è più distinzione fra passato e futuro, e nulla avviene.

Vicino alla Terra abbiamo una ricca sorgente di bassa entropia: il sole. Il sole ci invia fotoni caldi. La Terra irradia poi calore verso il cielo nero, emettendo fotoni più freddi. L'energia che entra è più o meno eguale a quella che esce, quindi nello scambio non guadagniamo energia (se ne guadagniamo è un disastro per noi: è il riscaldamento climatico). Ma per ogni fotone caldo arrivato, la Terra emette una decina di fotoni freddi, perché un fotone caldo dal sole ha la stessa energia di una decina di fotoni freddi emessi dalla Terra. Il fotone caldo ha *meno entropia* dei dieci fotoni freddi, perché il numero di configurazioni di un solo fotone (caldo) è più basso del numero di configurazioni di dieci fotoni (freddi). Quindi il sole è per noi una ricchissima fonte continua di bassa entropia. Abbiamo a disposizione abbondanza di bassa entropia, ed è *questa* che permette alle piante e agli animali di crescere, a noi di costruire motori, città, pensieri, e scrivere libri come questo.

Da dove viene la bassa entropia del sole? Dal fatto che a sua volta il sole nasce da una configurazione di entropia ancora minore: la nuvola primordiale da cui si è formato il sistema solare aveva entropia ancora più bassa. E così via all'indietro, fino alla bassissima entropia iniziale dell'universo.

È il crescere dell'entropia dell'universo che trascina la grande storia del cosmo.

Ma l'aumento dell'entropia nell'universo non è rapido come l'espansione improvvisa di un gas in una scatola: è graduale e prende tempo. Anche con un mestolone gigantesco, rimescolare una cosa grossa come l'universo prende tempo. Soprattutto, esistono porte chiuse e ostacoli per l'aumento dell'entropia, passaggi difficilmente praticabili.

Per esempio una catasta di legna, lasciata stare, dura a lungo.

Non è in uno stato di massima entropia, perché gli elementi di cui è fatta, come carbonio e idrogeno, sono combinati in modo molto particolare («ordinato») per dare forma al legno. L'entropia cresce se si disfano queste combinazioni particolari. Questo è quanto succede quando il legno brucia: i suoi elementi si disgregano dalle particolari strutture che formano il legno, e l'entropia aumenta bruscamente (il fuoco è infatti un processo fortemente irreversibile). Il legno però non inizia a bruciare da solo. Resta a lungo nel suo stato di bassa entropia, fino a che qualcosa non gli apre una porta che gli permetta di passare a uno stato di entropia più alta. Una catasta di legna è uno stato instabile, come un castello di carte, ma finché non arriva qualcosa a farlo crollare, non crolla. Questo qualcosa è per esempio un cerino che accende una fiamma. La fiamma è un processo che apre un canale attraverso il quale il legno può passare a uno stato di entropia più alta.

Impedimenti che ostacolano e quindi rallentano l'aumento dell'entropia sono ovunque nell'universo. Nel passato per esempio l'universo era sostanzialmente un'immensa distesa di idrogeno. L'idrogeno può fondere in elio, e l'elio ha entropia più alta dell'idrogeno. Ma perché questo possa avvenire è necessario che si apra un canale: si deve accendere una stella, e lì l'idrogeno comincia a bruciare in elio. Cosa accende le stelle? Un altro processo che fa aumentare l'entropia: la contrazione dovuta alla gravità di grandi nuvole di idrogeno che veleggiano per la galassia. Una nuvola di idrogeno contratta ha entropia più alta di una nuvola di idrogeno dispersa.¹¹⁴ Ma per contrarsi le nuvole di idrogeno a loro volta impiegano milioni di anni, perché sono grandi. E solo dopo che si sono concentrate arrivano a scaldarsi al punto di accendere il processo di fusione nucleare che apre una porta alla possibilità dell'entropia di crescere ulteriormente trasformando l'idrogeno in elio.

L'intera storia dell'universo è questo zoppicante e saltellante aumentare cosmico dell'entropia. Non è né rapido né uniforme, perché le cose restano intrappolate in bacini di bassa entropia

(la catasta di legna, la nuvola di idrogeno...) fino a che qualcosa non interviene per aprire la porta di un processo che permette all'entropia di crescere ulteriormente. La crescita stessa dell'entropia apre occasionalmente nuove porte attraverso le quali l'entropia ricomincia a crescere. Una diga in montagna, per esempio, trattiene l'acqua fino a che l'usura del tempo non la consuma e l'acqua scappa a valle, facendo crescere l'entropia. Lungo questo percorso accidentato, pezzi piccoli o grandi di universo restano costantemente isolati in situazioni relativamente stabili per periodi anche molto lunghi.

Gli esseri viventi sono costituiti da processi simili, che si innescano l'un l'altro. Le piante raccolgono i fotoni di bassa entropia del sole attraverso la fotosintesi. Gli animali si nutrono di bassa entropia mangiando. (Se ci bastasse energia, invece che entropia, andremmo tutti al caldo nel Sahara invece di mangiare). All'interno di ciascuna cellula vivente, la complessa rete di processi chimici è una struttura che apre e chiude porte attraverso le quali la bassa entropia cresce. Molecole funzionano da catalizzatori che permettono a processi di innescarsi, oppure li frenano. L'aumento dell'entropia in ciascun processo individuale è quello che fa funzionare il tutto. La vita è questa rete di processi di aumento di entropia che si catalizzano a vicenda.¹¹⁵ Non è vero, come si dice talvolta, che la vita genera strutture particolarmente ordinate, o diminuisce l'entropia localmente: semplicemente è un processo nutrito dalla bassa entropia del cibo; è un disordinarsi autostrutturato, come il resto dell'universo.

Anche i fenomeni più banali sono governati dalla seconda legge della termodinamica. Un sasso cade per terra. Perché? Si legge spesso che è perché il sasso si mette «nello stato di energia più bassa», che sarebbe in basso. Ma perché il sasso dovrebbe mettersi nello stato di energia più bassa? Perché dovrebbe perdere energia, se l'energia si conserva? La risposta è che quando il sasso colpisce la terra, la scalda: la sua energia meccanica si trasforma in calore, e da lì non si torna più indietro. Se non ci fosse la seconda legge della termodinamica,

se non ci fosse il calore, se non ci fosse il pullulare microscopico, il sasso continuerebbe a rimbalzare, non si poserebbe mai.

È l'entropia, non l'energia, che fa stare per terra i sassi e girare il mondo.

L'intero divenire cosmico è un graduale processo di disordine, come il mazzo di carte che inizia in ordine e poi si disordina mescolandolo. Non ci sono immense mani che mescolano l'universo, l'universo si mescola da solo, nelle interazioni fra le sue parti che si aprono e si chiudono nel corso stesso del mescolamento, passo a passo. Grandi regioni rimangono intrappolate in configurazioni che restano ordinate, poi qui e là si aprono nuovi canali attraverso i quali il disordine dilaga.¹¹⁶

Quello che fa accadere gli eventi del mondo, che scrive la storia del mondo, è l'irresistibile mescolarsi di tutte le cose, che va dalle poche configurazioni ordinate alle innumerevoli configurazioni disordinate. L'universo intero è come una montagna che crolla pian piano. Come una struttura che si sfalda gradualmente.

Dagli eventi più minuti ai più complessi, è questa danza di entropia crescente, nutrita dalla bassa entropia iniziale del cosmo, la vera danza di Śiva, il distruttore.

Tracce e cause

C'è un effetto importante che segue dal fatto che l'entropia sia stata bassa nel passato, che è cruciale per la distinzione fra passato e futuro ed è ubiquo: le tracce che il passato lascia nel presente.

Tracce sono ovunque. I crateri sulla luna testimoniano di impatti passati. I fossili ci mostrano la forma di esseri viventi del passato. I telescopi ci mostrano come erano galassie lontane nel passato. I libri ci raccontano la nostra storia passata. Il nostro cervello pullula di ricordi.

Esistono tracce del passato e non tracce del futuro *solo* perché l'entropia era bassa nel passato. Per nessun'altra ragione. L'unica sorgente della differenza fra passato e futuro è la bassa entropia passata, quindi non ci possono essere altre ragioni.

Per lasciare una traccia, è necessario che qualcosa si arresti, smetta di muoversi, e questo può avvenire solo con un processo irreversibile, cioè degradando energia in calore. Per questo i computer scaldano, il cervello si scalda, le meteore cadute sulla luna la scaldano e perfino la piuma d'oca degli amanuensi nelle abbazie benedettine del Medioevo scalda un poco la carta dove posa l'inchiostro. In un mondo senza calore, tutto rimbalza via elastico e nulla lascia traccia di sé.¹¹⁷

È la presenza di abbondanti tracce del passato a produrre la sensazione familiare che il passato sia determinato. L'assenza di analoghe tracce del futuro produce la sensazione che il futuro sia aperto. L'esistenza di tracce fa sì che il nostro cervello possa disporre di estese mappe di eventi passati e nulla di analogo per gli eventi futuri. Questo fatto è all'origine della nostra sensazione di poter agire liberamente nel mondo, scegliendo fra diversi futuri, ma di non poter agire sul passato.

I vasti meccanismi del cervello dei quali non abbiamo diretta consapevolezza («Non so perché sono così triste» esordisce Antonio nel *Mercante di Venezia*) sono stati disegnati nel corso dell'evoluzione per fare calcoli che riguardano futuri possibili: questo noi lo chiamiamo «decidere». E poiché elaborano possibili futuri alternativi che seguirebbero se il presente fosse esattamente com'è eccetto per un dettaglio, ci viene naturale pensare in termini di «cause» che precedono gli «effetti»: la causa di un evento futuro è un evento passato tale che l'evento futuro non sarebbe seguito in un mondo in cui tutto fosse eguale eccetto la causa.¹¹⁸

Nella nostra esperienza, la nozione di causa è asimmetrica nel tempo: la causa precede l'effetto. Quando riconosciamo che due eventi «hanno la stessa causa», in particolare, troviamo questa causa comune¹¹⁹ nel passato, non nel futuro: se due

onde di tsunami arrivano insieme su due isole vicine, noi pensiamo che ci sia stato un evento che le ha causate entrambe *nel passato*, non nel futuro. Ma questo non accade perché esiste una magica forza di «causazione» dal passato verso il futuro. Accade perché l'improbabilità di una correlazione fra due eventi richiede qualcosa di improbabile, ed è *solo* la bassa entropia del passato a fornire questa improbabilità. Che altro potrebbe? In altre parole, l'esistenza di cause comuni nel passato non è che una manifestazione della bassa entropia passata. In uno stato di equilibrio termico, o in un sistema puramente meccanico, non c'è una direzione del tempo individuata dalla causazione.

Le leggi della fisica elementare non parlano di «cause» ma solo di regolarità, simmetriche rispetto a passato e futuro. In un articolo famoso, Bertrand Russell lo nota e scrive enfaticamente: «La legge della causalità ... è un relitto di un'età passata che sopravvive, come la monarchia, solo perché si suppone erroneamente che non faccia danno».¹²⁰ Esagera, perché il fatto che non ci siano «cause» *a livello elementare* non è ragione sufficiente per rendere obsoleta la nozione di causa:¹²¹ a livello elementare non ci sono neanche gatti, ma non per questo smettiamo di occuparci di gatti. La bassa entropia del passato rende efficace la nozione di causa.

Ma memoria, cause e effetti, fluire, determinazione del passato e indeterminazione del futuro non sono che nomi che diamo alle conseguenze di un fatto statistico: l'improbabilità di uno stato passato dell'universo.

Cause, memoria, tracce, la storia stessa dell'accadere del mondo che si dispiega non solo nei secoli e nei millenni della storia umana, ma nei miliardi di anni del grande racconto cosmico, tutto questo nasce semplicemente dal fatto che la configurazione delle cose è stata «particolare» qualche miliardo di anni fa.¹²²

E «particolare» è termine relativo: si è particolari rispetto a una prospettiva. A una sfocatura. Che a sua volta è determinata

dalle interazioni che ha un sistema fisico con il resto del mondo. Cause, memoria, tracce, la storia stessa dell'accadere del mondo, quindi, possono essere solo prospettiva: come il roteare del cielo, un effetto del nostro peculiare punto di vista sul mondo... Inesorabilmente, lo studio del tempo non fa che riportarci a noi. E allora torniamo finalmente a noi stessi.

[114](#). Questa è un'altra comune fonte di confusione, perché una nuvola condensata sembra più «ordinata» di una nuvola dispersa. Non lo è, perché le velocità delle molecole di una nuvola dispersa sono tutte ordinatamente piccole, mentre quando la nuvola viene concentrata dalla gravità le velocità delle sue molecole sono grandi. La nuvola si concentra nello spazio fisico ma si disperde nello spazio delle fasi, che è quello che conta.

[115](#). Si veda in particolare S.A. Kauffman, *Humanity in a Creative Universe*, Oxford University Press, New York, 2016.

[116](#). L'importanza dell'esistenza di questa struttura ramificata delle interazioni nell'universo per comprendere l'effetto locale della crescita dell'entropia nell'universo è stata discussa per esempio da Hans Reichenbach (*The Direction of Time*, University of California Press, Berkeley, 1956). Il testo di Reichenbach è fondamentale per chiunque abbia dubbi su questi argomenti o voglia approfondirli.

[117](#). Sulla relazione precisa fra tracce ed entropia, si veda H. Reichenbach, *The Direction of Time*, cit., in particolare la discussione sulla relazione fra entropia, tracce e *common cause*, e D.Z. Albert, *Time and Chance*, cit. Un approccio recente è in D.H. Wolpert, *Memory Systems, Computation, and the Second Law of Thermodynamics*, «International Journal of Theoretical Physics», 31, 1992, pp. 743-85.

[118](#). Sulla difficile questione di cosa significhi «causa» per noi, si veda N. Cartwright, *Hunting Causes and Using Them*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

[119](#). *Common cause*, nella terminologia di Reichenbach.

[120](#). B. Russell, *On the Notion of Cause*, «Proceedings of the Aristotelian Society», N.S., 13, 1912-1913, pp. 1-26, qui p. 1.

[121](#). N. Cartwright, *Hunting Causes and Using Them*, cit.

[122](#). Una lucida discussione sulla questione della direzione del tempo è in H. Price, *Time's Arrow & Archimedes' Point*, Oxford University Press, Oxford, 1996.

IL PROFUMO DELLA MADELEINE

Felice
 e di se stesso padrone
 l'uomo che
 per ogni giorno del suo tempo
 può dire:
 «Oggi ho vissuto;
 domani il dio stenda per noi
 un orizzonte di cupe nubi
 o inventi un mattino limpido
 di luce,
 non muterà il nostro povero
 passato,
 non farà un nulla senza
 memoria
 delle vicende che l'ora
 fuggente
 ci avrà assegnato» (III, 29)

Veniamo quindi a noi stessi e al ruolo che giochiamo riguardo alla natura del tempo. Innanzitutto, cosa siamo «noi» esseri umani? Entità? Ma il mondo non è fatto di entità, è fatto di accadimenti che si combinano... «Io» allora cosa sono?

Nel *Milindapañha*, testo buddhista in lingua pāli del I secolo prima della nostra era, Nāgasena risponde alle domande del re Milinda, negando di esistere come entità:¹²³

Il re Milinda dice al sapiente Nāgasena: Qual è il tuo nome, maestro? Il maestro risponde: Mi chiamo Nāgasena, o gran re;

ma Nāgasena non è che un nome, una denominazione, un'espressione, una semplice parola: qui non vi è alcun soggetto.

Il re è stupito di una affermazione che suona così estrema:

Se non vi è alcun soggetto, chi mai ha vesti e nutrimento? Chi vive nella virtù? Chi uccide, chi ruba, chi ha piaceri, chi mente? Se non vi è più artefice, non vi è più né bene né male...

e argomenta che il soggetto deve avere un'esistenza propria, che non si riduce alle sue componenti:

Sono i capelli a essere Nāgasena, maestro? Sono le unghie o i denti o la carne o le ossa? È il nome? Sono le sensazioni, le rappresentazioni, la conoscenza? Nulla di tutto questo...

Il saggio risponde che «Nāgasena» effettivamente non è nulla di tutto questo, e il re sembra vincere la discussione: se Nāgasena non è nulla di tutto questo, allora dev'essere qualcos'altro, e questo qualcos'altro sarà il soggetto Nāgasena, che quindi esiste.

Ma il saggio gli ritorce contro la sua stessa argomentazione, chiedendogli dove sia un carro:

Sono le ruote a essere il carro? È il pianale a essere il carro? È il giogo a essere il carro? È l'insieme delle parti a essere carro?

Il re risponde cautamente che «carro» fa solo riferimento al rapporto fra, e con, l'insieme di ruote, pianale, giogo..., al loro funzionare assieme e rispetto a noi, e non esiste entità «carro» al di là di queste relazioni e accadimenti. Nāgasena trionfa: allo stesso modo di «carro», il nome «Nāgasena» non designa che un insieme di relazioni e di accadimenti...

Siamo processi, accadimenti, composti e limitati nello spazio e nel tempo.

Ma se non siamo un'entità individuale, cosa fonda la nostra identità e la nostra unità? Cosa fa sì che io sia Carlo, e

consideri parte di me tanto i miei capelli che le unghie dei miei piedi, tanto le mie rabbie che i miei sogni, e mi consideri lo stesso Carlo di ieri, lo stesso Carlo di domani, che pensa, soffre e percepisce?

Diversi ingredienti fondano la nostra identità. Tre di questi sono importanti per l'argomento di questo libro:

1. Il primo è che ciascuno di noi si identifica con *un punto di vista* sul mondo. Il mondo si riflette dentro ciascuno di noi attraverso una ricca gamma di correlazioni essenziali per la nostra sopravvivenza.¹²⁴ Ciascuno di noi è un processo complesso che riflette il mondo e ne elabora le informazioni in maniera strettamente integrata.¹²⁵

2. Il secondo ingrediente che fonda la nostra identità è lo stesso che per il carro. Nel riflettere il mondo, lo organizziamo in enti: pensiamo il mondo raggruppando e spezzettando alla meglio un continuo di processi più o meno uniformi e stabili, per meglio interagire con essi. Raggruppiamo un insieme di rocce in un ente che chiamiamo Monte Bianco, e lo pensiamo come una cosa unitaria. Disegniamo linee nel mondo, che lo dividono in parti; stabiliamo confini, ci appropriamo del mondo facendolo a pezzi. È la struttura del nostro sistema nervoso che funziona in questo modo. Riceve input sensoriali, elabora informazione in continuazione, generando comportamento. Lo fa attraverso reti di neuroni che formano sistemi dinamici flessibili che continuamente si modificano cercando di prevedere¹²⁶ - per quanto possibile - il flusso di informazioni entranti. Per fare questo, le reti di neuroni evolvono associando punti fissi più o meno stabili della loro dinamica a pattern ricorrenti che trovano nell'informazione entrante, o indirettamente nelle procedure stesse di elaborazione. Questo è quanto sembra emergere dal campo spumeggiante delle ricerche attuali sul cervello.¹²⁷ Se è così, le «cose», come i «concetti», sono punti fissi nella dinamica neuronale, indotti da strutture ricorrenti negli input sensoriali e nel processo della successiva elaborazione. Rispecchiano una combinazione di

aspetti del mondo che dipendono da strutture ricorrenti nel mondo e dalla loro rilevanza nell'interagire con noi. Questo è un carro. Hume sarebbe contento di venire a conoscenza di questi progressi nella comprensione del cervello.

In particolare raggruppiamo in un'immagine unitaria l'insieme di processi che costituiscono quegli organismi viventi che sono gli *altri* esseri umani, perché la nostra vita è sociale e quindi interagiamo molto con essi, ed essi sono nodi di cause e effetti assai rilevanti per noi. Ci siamo formati un'idea di «essere umano» interagendo con i nostri simili. Io credo che venga da lì l'idea di noi stessi, non dall'introspezione. Quando pensiamo a noi come persona, credo che stiamo applicando a noi stessi i circuiti mentali che abbiamo sviluppato per trattare con i nostri compagni. La prima immagine di me che ho da bambino è il bambino come lo vede mia mamma. Noi siamo per noi stessi in larga misura quello che vediamo e abbiamo visto di noi specchiato nei nostri amici, amori e nemici.

Non mi ha mai convinto l'idea, spesso attribuita a Cartesio, che prioritaria nella nostra esperienza sia la consapevolezza del fatto che pensiamo e quindi esistiamo. (Anche l'attribuzione dell'idea a Cartesio mi sembra erronea: *Cogito ergo sum* non è il primo passo della ricostruzione cartesiana, è il secondo. Il primo è *Dubito ergo cogito*. Il punto di partenza della ricostruzione non è un ipotetico *a priori* immediato dell'esperienza di esistere come soggetto. Questa è piuttosto una riflessione razionalistica *a posteriori* del percorso che lo aveva *precedentemente* portato a dubitare: siccome ha dubitato, la ragione gli garantisce che chi dubita pensa, e quindi è. Si tratta di una considerazione sostanzialmente in terza persona, non in prima persona, anche se svolta in privato. Il punto di partenza di Cartesio è il dubbio metodico di un colto e raffinato intellettuale, non l'esperienza elementare di un soggetto). L'esperienza di pensarsi come soggetto non è un'esperienza primaria: è una complessa deduzione culturale, a valle di molti pensieri. La mia esperienza primaria - ammesso che questo significhi qualcosa - è vedere il mondo attorno a

me, non me stesso. Credo che noi abbiamo un'idea di «me stesso» solo perché a un certo punto impariamo a proiettare su di noi l'idea di essere umano, di compagno, che l'evoluzione ci ha portato a sviluppare nel corso dei millenni per trattare con gli altri membri del nostro gruppo; siamo il riflesso dell'idea di noi che cogliamo nei nostri simili.

3. Ma c'è un terzo ingrediente che fonda la nostra identità, e probabilmente è quello essenziale, quello per il quale questa discussione delicata compare in un libro sul tempo: la memoria.

Non siamo un insieme di processi indipendenti, in momenti successivi. Ogni momento della nostra esistenza è legato con un peculiare filo triplo al nostro passato - quello immediatamente precedente e quello più lontano - dalla memoria. Il nostro presente pullula di tracce del nostro passato. Noi siamo *storie* per noi stessi. Racconti. Io non sono questa istantanea massa di carne sdraiata sul sofà che batte la lettera «a» sul computerino portatile; sono i miei pensieri pieni di tracce della frase che sto scrivendo, sono le carezze di mia madre, la dolcezza serena con cui mio padre mi ha guidato, sono i miei viaggi adolescenti, le mie letture che si sono stratificate nel mio cervello, i miei amori, le mie disperazioni, le mie amicizie, le cose che ho scritto, ascoltato, i volti che sono impressi nella mia memoria. Sono soprattutto quello che un minuto fa si è versato una tazza di tè. Quello che un istante fa ha battuto la parola «memoria» sulla tastiera di questo computer. Quello che un attimo fa immaginava questa frase che ora sto completando. Se tutto questo sparisse, esisterei ancora? Io sono questo lungo romanzo che è la mia vita.

È la memoria che salda i processi sparpagliati nel tempo di cui siamo costituiti. In questo senso noi esistiamo nel tempo. Per questo io sono lo stesso di quello di ieri. Capire noi stessi significa riflettere sul tempo. Ma capire il tempo significa riflettere su noi stessi.

Un libro recente dedicato alle ricerche sul funzionamento del cervello si intitola *Il tuo cervello è una macchina del tempo*.¹²⁸

Discute i molti modi in cui il cervello interagisce con il passare del tempo e stabilisce ponti fra passato, presente e futuro. In larga misura, il cervello è un meccanismo che raccoglie memoria del passato per usarla continuamente per predire il futuro. Questo avviene su uno spettro ampio di scale temporali, a partire da scale molto brevi - se qualcuno ci lancia un oggetto, la nostra mano si muove con destrezza là dove l'oggetto arriverà fra pochi attimi, per afferrarlo: il cervello, usando le impressioni passate, ha calcolato molto rapidamente la posizione futura dell'oggetto che sta volando verso di noi - fino a scale molto lunghe, come quando piantiamo il grano affinché cresca la spiga. O investiamo in ricerca scientifica, perché questa possa domani portarci tecnologia e conoscenza. La possibilità di prevedere qualcosa del futuro migliora ovviamente le chance di sopravvivenza e quindi l'evoluzione ha selezionato queste strutture neurali, e noi ne siamo il risultato. Questo vivere a cavallo fra eventi passati ed eventi futuri è centrale nella nostra struttura mentale. Questo è per noi il «fluire» del tempo.

Ci sono strutture elementari nel cablaggio del nostro sistema nervoso che rilevano immediatamente il movimento: un oggetto che appare in un luogo e subito dopo in un altro luogo non genera due segnali distinti che viaggiano verso il cervello sfasati nel tempo, ma un singolo segnale, correlato con il fatto che stiamo guardando una cosa che si muove. In altre parole, quello che percepiamo non è il presente, che comunque non avrebbe senso per un sistema che funziona su scale di tempi finite, bensì qualcosa che accade ed è esteso nel tempo. È nel nostro cervello che un'estensione nel tempo si condensa in percezione di durata.

L'intuizione è antica. Sono rimaste celebri le considerazioni di sant'Agostino.

Nel libro XI delle *Confessioni*, Agostino si interroga sulla natura del tempo e - anche se interrotta da esclamazioni in stile predicatore evangelico che io trovo assai noiose - presenta una lucida analisi della nostra possibilità di percepire il tempo.

Osserva che siamo sempre nel presente, perché il passato è passato e quindi non c'è, mentre il futuro deve ancora arrivare, e quindi pure non c'è. E si chiede come possiamo essere consapevoli della durata, addirittura valutarla, se siamo sempre solo nel presente, che è per definizione istantaneo. Come facciamo a sapere con tanta chiarezza del passato, del tempo, se siamo sempre solo nel presente? Qui e ora, non ci sono passato e futuro. Dove sono? La conclusione di Agostino: sono in noi.

È nella mia mente, allora, che misuro il tempo. Non devo permettere alla mia mente di insistere che il tempo sia qualcosa di oggettivo. Quando misuro il tempo, sto misurando qualcosa nel presente della mia mente. O il tempo è questo, o non so cosa sia.

L'idea è più convincente di quanto possa sembrare a una prima lettura. Possiamo dire che misuriamo la durata con un orologio. Ma per farlo bisogna leggere l'orologio in due momenti diversi: questo non è possibile, perché noi siamo sempre in un momento solo, mai in due. Nel presente vediamo solo il presente; possiamo vedere cose che interpretiamo come *tracce* del passato, ma tra vedere tracce del passato e percepire il fluire del tempo c'è una differenza capitale, e Agostino si rende conto che la radice di questa differenza, la consapevolezza del passare del tempo, è interna. È parte della mente. Sono le tracce del passato nel cervello.

È molto bella la discussione di Agostino. Si appoggia sulla musica. Quando ascoltiamo un inno, il senso di un suono è dato dai suoni precedenti e successivi. La musica ha senso solo nel tempo, ma se noi siamo in ogni momento solo nel presente, come possiamo cogliere questo senso? È perché - osserva Agostino - la nostra consapevolezza è fondata sulla memoria e sull'anticipazione. L'inno, un canto sono in qualche modo presenti nella nostra mente in forma unitaria, tenuti insieme da qualcosa che è ciò che per noi è il tempo. E questo dunque è il tempo: è interamente nel presente, nella nostra mente come

memoria e come anticipazione.

L'idea che il tempo possa esistere solo nella mente non è certo diventata dominante nel pensiero cristiano. Anzi, è una delle proposizioni condannate esplicitamente come eretiche dal vescovo di Parigi, Étienne Tempier, nel 1277. Fra la sua lista di proposizioni condannate si legge:

*Quod evum et tempus nichil sunt in re,
sed solum in apprehensione.*¹²⁹

Ovvero: «[È eretico sostenere che] le età e il tempo non abbiano esistenza nella realtà, ma solo nella mente». Forse il mio libro sta scivolando nell'eresia... ma visto che Agostino continua a essere considerato santo, direi che non debbo preoccuparmi: il cristianesimo è flessibile...

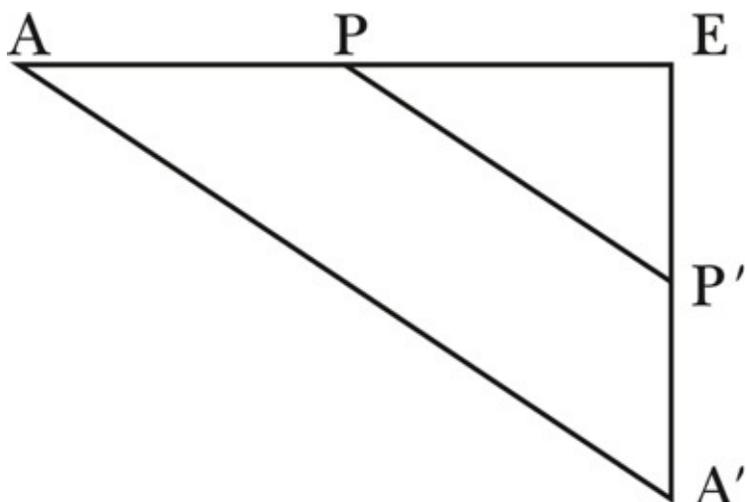
Può sembrare facile obiettare ad Agostino che le tracce del passato che lui trova dentro di sé possono essere lì solo perché rispecchiano una struttura reale del mondo esterno. Nel XIV secolo Guglielmo di Ockham, per esempio, sostiene nella sua *Philosophia Naturalis* che l'uomo osserva sia i moti del cielo che quelli in sé, e quindi percepisce il tempo attraverso la sua propria coesistenza con il mondo. Secoli dopo, Husserl insiste - giustamente - sulla distinzione fra tempo fisico e «coscienza interna del tempo»: per un sano naturalista, che non vuole affogare nei gorgi inutili dell'idealismo, il primo (il mondo fisico) viene prima, mentre la seconda (la coscienza) - indipendentemente da quanto bene la capiamo - ne viene determinata. È un'obiezione del tutto ragionevole, fintantoché la fisica ci rassicura che il flusso del tempo esterno a noi è reale, universale e coerente con le nostre intuizioni. Ma se la fisica ci mostra quanto un simile tempo *non* sia parte elementare della realtà fisica, possiamo ancora trascurare l'osservazione di Agostino e trattarla come irrilevante rispetto alla natura del tempo?

L'intuizione sulla natura *interna* piuttosto che *esterna* del

tempo riappare ripetutamente nella riflessione filosofica occidentale. Kant discute la natura dello spazio e del tempo nella *Critica della ragione pura*, e interpreta sia spazio che tempo come forme *a priori* della conoscenza, cioè qualcosa che non riguarda tanto il solo mondo oggettivo, quanto il modo di coglierlo da parte del soggetto. Ma osserva anche che mentre lo spazio è forma del senso *esterno*, cioè è il modo di mettere ordine nelle cose che vediamo nel mondo *fuori* di noi, il tempo è forma del senso *interno*, ossia il nostro modo di ordinare stati *interni*, dentro di noi. Ancora una volta: la base della struttura temporale del mondo è cercata in qualcosa che riguarda strettamente il funzionamento del nostro pensiero. L'osservazione resta pertinente anche senza bisogno di rimanere impigliati nel trascendentalismo kantiano.

Husserl riecheggia Agostino quando descrive la formazione prima dell'esperienza in termini di «ritenzione» usando, come Agostino, la metafora dell'ascolto di una melodia¹³⁰ (il mondo nel frattempo si era imborghesito e dagli inni si era passati alle melodie): nel momento in cui ascoltiamo una nota, la nota precedente viene «ritenuta», poi ne viene ritenuta la ritenzione, e così via sfumando, per cui il presente contiene traccia continua via via più sfocata del passato.¹³¹ Questa ritenzione è ciò che fa sì, secondo Husserl, che i fenomeni «costituiscono il tempo». Il diagramma accanto è suo: l'asse orizzontale da A a E rappresenta il tempo che passa, quello verticale da E a A' rappresenta la «ritenzione» al momento E, dove il progressivo «sprofondamento» porta A ad A'. I fenomeni costituiscono il tempo perché al momento E esistono P' e A'. Il punto interessante è che la sorgente della fenomenologia del tempo non è individuata da Husserl nella ipotetica oggettiva successione dei fenomeni (la linea orizzontale), bensì nella memoria (e similmente nell'anticipazione, che Husserl chiama «protensione»), cioè nella linea verticale del diagramma. Il punto che sottolineo qui è che questo continua a valere (in una filosofia naturalista) anche in un mondo fisico dove non vi sia un tempo fisico

organizzato globalmente lungo una linea, ma vi siano solo tracce generate dal variare dell'entropia.



Sulla scia di Husserl, Heidegger – per quanto la mia simpatia per la lingua chiara e trasparente di Galileo mi permetta di decifrare dalla voluta oscurità del suo linguaggio – scrive che «il tempo si temporalizza solo nella misura in cui ci sono esseri umani». ¹³² Anche per lui il tempo è il tempo dell'uomo, il tempo per fare, per ciò di cui l'uomo si prende cura. Anche se poi, siccome gli interessa solo ciò che l'essere è per l'uomo (per «l'ente che si pone il problema dell'essere»), ¹³³ Heidegger finisce per identificare la coscienza interna del tempo come l'orizzonte stesso dell'essere.

Queste intuizioni su quanto il tempo sia inerente al soggetto restano significative anche nell'ambito di un sano naturalismo, che vede il soggetto come parte della natura e non ha paura di parlare della «realtà» e studiarla, pur mantenendo la consapevolezza che quello che arriva alla nostra conoscenza e alla nostra intuizione è filtrato radicalmente dal modo in cui funziona lo strumento limitato che è la nostra mente – parte di quella realtà –, e quindi dipende dall'interazione fra un mondo esterno e le strutture con cui funziona la mente.

Ma la mente è il funzionamento del nostro cervello. Quel (poco) che cominciamo a capire di questo funzionamento è che il nostro intero cervello funziona su un insieme di *tracce* del passato, lasciate nelle sinapsi che connettono i neuroni. Sinapsi si formano a migliaia in continuazione e poi si cancellano – soprattutto durante il sonno –, lasciando una sfocata immagine del passato: di quello che nel passato ha influito sul nostro sistema nervoso. Immagine sfocata, certo – pensate a quanti milioni di dettagli vedono i nostri occhi ogni istante, che non restano poi nella memoria –, ma tale da racchiudere mondi.

Mondi sterminati.

Sono quei mondi che il giovane Marcel ritrova confuso ogni mattina nella vertigine del momento in cui la coscienza emerge come una bolla da profondità insondabili, nelle pagine iniziali della *Recherche*.¹³⁴ Quel mondo di cui si schiudono poi a Marcel vasti territori quando il sapore della madeleine gli riporta il profumo di Combray. Un mondo immenso, di cui Proust dipana lentamente una mappa che si svolge lungo le tremila pagine del suo grande romanzo. Un romanzo, notate, che non è racconto di eventi del mondo: è racconto di quello che c'è dentro una sola memoria. Dal profumo della madeleine fino all'ultima parola («tempo») di *Le Temps retrouvé*, il libro non è che una disordinata, dettagliata passeggiata fra le sinapsi del cervello di Marcel.

Lì dentro, in quei pochi centimetri cubi di materia grigia, Proust trova uno spazio sconfinato, una folla inverosimile di dettagli, profumi, considerazioni, sensazioni, riflessioni, rielaborazioni, colori, oggetti, nomi, sguardi, emozioni... Tutto dentro le pieghe del cervello fra le due orecchie di Marcel. Questo è il fluire del tempo di cui abbiamo esperienza: è lì dentro che sta annidato, dentro di noi, nella presenza così cruciale delle tracce del passato sui nostri neuroni.

Proust è esplicito: «La realtà si forma soltanto nella memoria» scrive nel primo libro.¹³⁵ E la memoria, a sua volta, è una collezione di tracce, un prodotto indiretto del disordinarsi del

mondo, della piccola equazione scritta pagine fa, $\Delta S \geq 0$, che ci dice che lo stato del mondo era in una configurazione «particolare» nel passato, e per questo lascia tracce. E forse «particolare» solo rispetto a rari sottosistemi - noi fra questi.

Siamo storie, contenute in quei venti centimetri complicati dietro ai nostri occhi, linee disegnate da tracce lasciate dal rimescolarsi delle cose del mondo, e orientate a predire accadimenti verso il futuro, verso la direzione dell'entropia crescente, in un angolo un po' particolare di questo immenso disordinato universo.

Questo spazio, la memoria, insieme al nostro continuo esercizio di anticipazione, è la sorgente del nostro sentire il tempo come tempo, e noi come noi.¹³⁶ Pensateci: la nostra introspezione può facilmente immaginare di esistere senza che esista lo spazio o senza che esista la materia, ma può immaginarsi di non esistere nel tempo?¹³⁷

È rispetto a quel sistema fisico a cui apparteniamo, per il modo peculiare in cui interagisce con il resto del mondo, grazie al fatto che permette le tracce e perché noi come entità fisiche siamo in primo luogo memoria e anticipazione, che si apre per noi la prospettiva del tempo, come la nostra piccola radura illuminata:¹³⁸ il tempo che ci apre il nostro parziale accesso al mondo.¹³⁹ Il tempo è allora la forma con cui noi esseri il cui cervello è fatto essenzialmente di memoria e previsione interagiamo con il mondo, è la sorgente della nostra identità.¹⁴⁰

E del nostro dolore.

Buddha lo ha riassunto in poche formule, che milioni di uomini hanno preso a fondamento della propria vita: la nascita è dolore, la decadenza è dolore, la malattia è dolore, la morte è dolore, l'unione con ciò che odiamo è dolore, la separazione da ciò che amiamo è dolore, non ottenere quello che desideriamo è dolore.¹⁴¹ È dolore perché quello che abbiamo e a cui ci attacchiamo poi lo perdiamo. Perché tutto quello che inizia poi

finisce. Quello che soffriamo non è né nel passato né nel futuro: è lì ora, nella nostra memoria, nelle nostre anticipazioni. Aneliamo all'atemporalità, soffriamo il passaggio; soffriamo il tempo. Il tempo è il dolore.

Questo è il tempo, e per questo ci affascina e ci inquieta, e forse anche per questo, lettore, fratello, hai preso in mano questo libro. Perché non è altro che una labile struttura del mondo, una fluttuazione effimera nell'accadere del mondo, ciò che ha la caratteristica di dare origine a quello che noi siamo: esseri fatti di tempo. A farci essere, a regalarci il dono prezioso della nostra stessa esistenza, a permetterci di creare quell'illusione fugace di permanenza che è la radice di ogni nostro soffrire.

La musica di Strauss e le parole di Hofmannsthal lo cantano con struggente leggerezza:¹⁴²

Ricordo una bambina...
Come può essere...
una volta ero la piccola Resi,
e un giorno sarò diventata una vecchia donna?
... Se Dio vuole che sia così, perché mi permette di
vederlo? Perché non me lo nasconde?
È tutto un mistero, un mistero così profondo...
Sento la fragilità delle cose nel tempo.
Giù nel mio cuore, sento che non dovremmo aggrapparci
a nulla.
Tutto scivola tra le dita.
Tutto ciò che cerchiamo di cogliere si dissolve.
Tutto svanisce come nebbia e sogni...
Il tempo è una cosa strana.
Quando non ne abbiamo bisogno, non è niente.
Poi d'un tratto non c'è altro.
È dappertutto intorno a noi. È anche dentro di noi.
Si insinua attraverso le nostre facce.
Si insinua nello specchio, scorre attraverso le mie
tempie...

E tra te e me scorre in silenzio, come una clessidra.
Oh, Quin Quin.
A volte lo sento fluire inesorabilmente.
A volte mi alzo nel cuore della notte
e fermo tutti gli orologi...

[123](#). *Mil*, II, 1, in *Sacred Books of the East*, vol. XXXV, 1890.

[124](#). C. Rovelli, *Meaning = Information + Evolution*, 2016, <https://arxiv.org/abs/1611.02420>.

[125](#). G. Tononi, O. Sporns e G.M. Edelman, *A measure for brain complexity: Relating functional segregation and integration in the nervous system*, «*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*», 91, 1994, pp. 5033-37.

[126](#). J. Hohwy, *The Predictive Mind*, Oxford University Press, Oxford, 2013.

[127](#). Per esempio, si veda V. Mante, D. Sussillo, K.V. Shenoy e W.T. Newsome, *Context-dependent computation by recurrent dynamics in prefrontal cortex*, «*Nature*», 503, 2013, pp. 78-84, e la letteratura citata nell'articolo.

[128](#). D. Buonomano, *Your Brain is a Time Machine: The Neuroscience and Physics of Time*, Norton, New York, 2017.

[129](#). *La condamnation parisienne de 1277*, a cura di D. Piché, Vrin, Paris, 1999.

[130](#). E. Husserl, *Vorlesungen zur Phänomenologie des inneren Zeitbewusstseins*, Niemeyer, Halle a. d. Saale, 1928; trad. it. *Per la fenomenologia della coscienza interna del tempo*, Franco Angeli, Milano, 1981.

[131](#). Nel testo citato, Husserl insiste che questo non sia un

«fenomeno fisico». A un naturalista questa suona come una petizione di principio: non *vuole* vedere la memoria come fenomeno fisico perché ha *deciso* di usare l'esperienza fenomenologica come partenza della sua analisi. Lo studio della dinamica dei neuroni del nostro cervello mostra come il fenomeno sia realizzato in termini fisici: il presente dello stato fisico del mio cervello «ritiene» il suo stato passato, sempre più sfumato man mano che è più lontano nel passato. Si veda per esempio: M. Jazayeri e M.N. Shadlen, *A Neural Mechanism for Sensing and Reproducing a Time Interval*, «Current Biology», 25, 2015, pp. 2599-609.

[132](#). M. Heidegger, *Einführung in die Metaphysik* (1935), in *Gesamtausgabe*, Klostermann, Frankfurt a. M., vol. XL, 1983, p. 90; trad. it. *Introduzione alla metafisica*, Mursia, Milano, seconda ediz., 1972, p. 94.

[133](#). M. Heidegger, *Sein und Zeit* (1927), in *Gesamtausgabe*, cit., vol. II, 1977, *passim*; trad. it. *Essere e tempo*, Longanesi, Milano, nuova ediz. riveduta, 2005.

[134](#). M. Proust, *Du côté de chez Swann*, in *À la recherche du temps perdu*, Gallimard, Paris, vol. I, 1987, pp. 3-9.

[135](#). *Ibid.*, p. 182.

[136](#). G.B. Vicario, *Il tempo. Saggio di psicologia sperimentale*, il Mulino, Bologna, 2005.

[137](#). L'osservazione, abbastanza comune, è per esempio in apertura di J.M.E. McTaggart, *The Nature of Existence*, Cambridge University Press, Cambridge, vol. I, 1921 (trad. it. *La natura dell'esistenza*, Pitagora, Bologna, 1999).

[138](#). Forse *Lichtung* in M. Heidegger, *Holzwege* (1950), in *Gesamtausgabe*, cit., vol. V, 1977, *passim*; trad. it. *Sentieri interrotti*, La Nuova Italia, Firenze, 1968.

[139](#). Per Durkheim (*Les Formes élémentaires de la vie religieuse*, Alcan, Paris, 1912), uno dei padri della sociologia, il concetto di tempo, come le altre grandi categorie del pensiero, ha origine nella società e in particolare nella struttura religiosa che ne costituisce la forma primaria. Se questo può essere vero per aspetti complessi della nozione di tempo – per gli «strati più esterni» della nozione di tempo –, mi sembra difficile possa estendersi all'esperienza diretta del passaggio del tempo: altri mammiferi hanno un cervello pressoché eguale al nostro e quindi esperiscono il passaggio del tempo come noi, senza bisogno di avere una società o una religione.

[140](#). Sull'aspetto fondante del tempo per la psicologia umana, si veda anche il classico W. James, *The Principles of Psychology*, Henry Holt, New York, 1890.

[141](#). *Mahāvagga*, I, 6, 19, in *Sacred Books of the East*, vol. XIII, 1881. Per i concetti relativi al buddhismo mi sono basato soprattutto su H. Oldenberg, *Buddha*, Dall'Oglio, Milano, 1956.

[142](#). H. von Hofmannsthal, *Il Cavaliere della Rosa*, atto I.

LE SORGENTI DEL TEMPO

Forse il dio ci serba molte
stagioni
ancora,
o forse l'ultima è questo
inverno
che ora le onde del Tirreno
riconduce a battere contro
scogli di corrosa pomice:
tu sii saggia. Versa il vino
e chiudi in questo breve
cerchio
la lunga tua speranza (I, 11)

Siamo partiti dall'immagine del tempo che ci è familiare: qualcosa che scorre uniforme e eguale in tutto l'universo, nel cui corso avvengono tutte le cose. Esiste in tutto il cosmo un presente, un «adesso», che è la realtà. Il passato è fisso, avvenuto, lo stesso per tutti. Il futuro, aperto, ancora indeterminato. La realtà scorre dal passato attraverso il presente verso il futuro, e l'evoluzione delle cose è intrinsecamente asimmetrica fra il passato e il futuro. Questa, pensavamo, è la struttura di base del mondo.

Questo quadro familiare si è sgretolato, si è mostrato essere solo un'approssimazione di un'approssimazione di una realtà più complessa.

Il presente comune a tutto l'universo non esiste (capitolo 3). Gli avvenimenti non sono tutti ordinati in passati, presenti e futuri: sono solo «parzialmente» ordinati. C'è un presente vicino a noi,

ma non qualcosa di «presente» su una galassia lontana. Il presente è nozione locale, non globale.

La differenza fra passato e futuro non c'è nelle equazioni elementari che governano gli eventi del mondo (capitolo 2). Viene solo dal fatto che nel passato il mondo si è trovato a essere in uno stato che al nostro sguardo sfocato appare particolare.

Localmente, il tempo scorre a velocità diverse a seconda di dove siamo e a che velocità ci muoviamo. Più siamo vicini a una massa (capitolo 1), o ci muoviamo velocemente (capitolo 3), più il tempo rallenta: non c'è una durata unica fra due eventi, ce ne sono molte possibili.

I ritmi a cui scorre il tempo sono determinati dal campo gravitazionale, che è un'entità reale e ha una sua dinamica, descritta dalle equazioni di Einstein. Se trascuriamo effetti quantistici, tempo e spazio sono aspetti di una grande gelatina mobile in cui siamo immersi (capitolo 4).

Ma il mondo è quantistico, e la gelatina di spaziotempo è anch'essa un'approssimazione. Nella grammatica elementare del mondo non ci sono né spazio né tempo: solo processi che trasformano quantità fisiche le une nelle altre, di cui possiamo calcolare probabilità e relazioni (capitolo 5).

Al livello più fondamentale che oggi conosciamo, quindi, c'è poco che somigli al tempo della nostra esperienza. Non c'è variabile «tempo» speciale, non c'è differenza fra passato e futuro, non c'è spaziotempo (Parte seconda). Sappiamo lo stesso scrivere equazioni che descrivono il mondo. In queste equazioni, le variabili evolvono l'una rispetto all'altra (capitolo 8). Non è un mondo «statico», né un «universo-blocco» dove il cambiamento è illusorio (capitolo 7): al contrario, è un mondo di avvenimenti non di cose (capitolo 6).

Questo è stato il viaggio di andata, verso un universo senza tempo.

Il viaggio di ritorno è stato lo sforzo di capire come da questo

mondo senza tempo possa emergere (capitolo 9) la nostra sensazione del tempo. La sorpresa è stata che nell'emergere degli aspetti familiari del tempo giochiamo un ruolo noi stessi. Dalla *nostra* prospettiva, la prospettiva di creature che sono una piccola parte del mondo, vediamo il mondo scorrere nel tempo. La nostra interazione con il mondo è parziale, per questo lo vediamo sfocato. A questa sfocatura si aggiunge l'indeterminatezza quantistica. L'ignoranza che ne segue determina l'esistenza di una variabile particolare, il tempo termico (capitolo 9), e di un'entropia che quantifica la nostra incertezza.

Forse apparteniamo a un sottoinsieme particolare del mondo che interagisce con il resto in modo tale che questa entropia sia bassa in una direzione del nostro tempo termico. L'orientazione del tempo è allora reale, ma prospettica (capitolo 10): l'entropia del mondo *rispetto a noi* aumenta con il nostro tempo termico. Vediamo un accadere di cose ordinato in questa variabile, che chiamiamo semplicemente «tempo», e l'aumento dell'entropia distingue per noi il passato dal futuro e conduce il dispiegarsi del cosmo. Determina l'esistenza di tracce, resti e memorie del passato (capitolo 11). Noi creature umane siamo un effetto di questa grande storia dell'aumento dell'entropia, tenuti insieme dalla memoria permessa da queste tracce. Ciascuno di noi è unitario perché riflette il mondo, perché ci siamo formati un'immagine di entità unitarie interagendo con i nostri simili, e perché è una prospettiva sul mondo unificata dalla memoria (capitolo 12). Di qui nasce quello che chiamiamo il «fluire» del tempo. Questo ascoltiamo quando ascoltiamo lo scorrere del tempo.

La variabile «tempo» è una delle tante variabili che descrivono il mondo. È una delle variabili del campo gravitazionale (capitolo 4): alla nostra scala, non ne rileviamo le fluttuazioni quantistiche (capitolo 5), quindi possiamo pensarlo come determinato: il mollusco Einsteiniano: alla nostra scala, gli scuotimenti del mollusco sono piccoli, possiamo trascurarli. Possiamo quindi pensarlo come una tavola rigida. Questa tavola

ha direzioni, che chiamiamo spazio, e quella lungo la quale l'entropia aumenta, che chiamiamo tempo. Nella nostra vita quotidiana ci muoviamo a velocità piccole rispetto alla velocità della luce e quindi non vediamo le discrepanze fra i tempi propri diversi di orologi diversi, e le differenze di velocità a cui scorre il tempo a distanze diverse da una massa sono troppo piccole per essere distinte.

Alla fine quindi, invece di molti tempi possibili, possiamo parlare di un solo tempo: il tempo della nostra esperienza: uniforme, universale, ordinato. Questo è l'approssimazione di un'approssimazione di un'approssimazione di una descrizione del mondo presa dalla prospettiva particolare di noi esseri che ci nutriamo della crescita dell'entropia, ancorati allo scorrere del tempo. Noi, per i quali, come ci dice *Qohelet*,¹⁴³ c'è un tempo per nascere e un tempo per morire.

Questo è il tempo per noi: un concetto stratificato, complesso, con molteplici proprietà distinte, che vengono da approssimazioni diverse.

Molte discussioni sul concetto di tempo sono confuse solo perché non riconoscono l'aspetto complesso e stratificato di questo concetto; fanno l'errore di non vedere che i diversi strati sono indipendenti.

Questa è la struttura fisica del tempo, come la capisco io, dopo avere passato una vita a girarci intorno.

Di questa storia, molti pezzi sono solidi, altri plausibili, altri sono azzardi per cercare di comprendere.

Accertate da innumerevoli esperimenti sono praticamente tutte le cose raccontate nella prima parte del libro: il rallentamento con l'altezza e la velocità, la non esistenza del presente, la relazione fra tempo e campo gravitazionale, il fatto che le relazioni fra i diversi tempi siano dinamiche, che le equazioni elementari non conoscano la direzione del tempo, la relazione fra entropia e direzione del tempo, la relazione fra entropia e sfocatura. Tutto questo è ben accertato.¹⁴⁴

Che il campo gravitazionale abbia proprietà quantistiche è convinzione condivisa, anche se sostenuta per ora solo da argomenti teorici e non da evidenze sperimentali.

Plausibile è l'assenza della variabile tempo dalle equazioni fondamentali, che ho discusso nella seconda parte, ma sulla forma di queste equazioni il dibattito è acceso. L'origine del tempo nella non-commutatività quantistica, il tempo termico, e il fatto che l'aumento dell'entropia che osserviamo dipenda dalla nostra interazione con l'universo, sono idee che mi affasciano, ma tutt'altro che confermate.

Quello che è del tutto credibile, comunque, è il fatto generale che la struttura temporale del mondo sia diversa dall'immagine ingenua che ne abbiamo. Questa immagine ingenua è adatta alla nostra vita quotidiana, ma non è adatta per comprendere il mondo nelle sue pieghe minute o nella sua vastità. Con ogni probabilità non è neppure sufficiente per comprendere la nostra stessa natura. Perché il mistero del tempo si interseca con il mistero della nostra identità personale, con il mistero della coscienza.

Il mistero del tempo ci inquieta da sempre, muove emozioni profonde. Così profonde da nutrire filosofie e religioni.

Io credo, come suggerisce Hans Reichenbach in *La direzione del tempo*, uno dei libri più lucidi sulla natura del tempo, che sia per sfuggire all'inquietudine che ci causa il tempo che Parmenide ha voluto negarne la realtà, Platone ha immaginato un mondo di idee che vivono fuori dal tempo e Hegel parla del momento in cui lo Spirito supera la temporalità e si sa come il tutto; è per sfuggire a questa inquietudine che ci siamo immaginati l'esistenza dell'«eternità», uno strano mondo fuori dal tempo che vorremmo popolato da dèi, da un Dio o da anime immortali.¹⁴⁵ Il nostro atteggiamento emotivo profondo verso il tempo ha contribuito a costruire cattedrali di filosofia più di quanto abbiano fatto logica e ragione. L'atteggiamento emotivo opposto, l'adorazione del tempo, quella di Eraclito o di Bergson, ha dato origine ad altrettanta filosofia, senza

avvicinarci di molto, neppure esso, a capire cosa sia il tempo.

La fisica ci aiuta a penetrare strati del mistero. Mostra come la struttura temporale del mondo sia diversa dalla nostra intuizione. Ci dà la speranza di poter studiare la natura del tempo liberandoci dalla nebbia causata dalle nostre emozioni.

Ma alla ricerca del tempo, sempre più lontano da noi, abbiamo forse finito per ritrovare qualcosa di noi stessi, come Copernico, che pensando di studiare i movimenti dei Cieli ha finito per capire come si muoveva la Terra sotto i suoi piedi. Alla fine, forse, l'emozione del tempo non è lo schermo di nebbia che ci impedisce di vedere la natura oggettiva del tempo.

Forse l'emozione del tempo è precisamente ciò che per noi è il tempo.

Non credo che ci sia molto più di così da capire. Possiamo porci ulteriori domande, ma dobbiamo stare attenti alle domande che è impossibile formulare bene. Quando abbiamo trovato tutte le caratteristiche dicibili del tempo, abbiamo trovato il tempo. Possiamo gesticolare scompostamente alludendo a un senso immediato del tempo al di là del dicibile («Sì, ma perché "passa"?»), ma credo che a questo punto ci stiamo oramai solo confondendo, stiamo illegittimamente trasformando nomi approssimativi in cose. Quando non riusciamo a formulare un problema con precisione, spesso non è perché il problema sia profondo: è perché è un falso problema.

Riusciremo a comprendere ancora meglio? Penso di sì. La nostra comprensione della natura è aumentata vertiginosamente lungo i secoli, e stiamo continuando a imparare. Ma qualcosa intravediamo, del mistero del tempo. Possiamo vedere il mondo senza tempo, vedere con gli occhi della mente la struttura profonda del mondo dove il tempo che conosciamo non esiste più, come il pazzo sulla collina di Paul McCartney vede la Terra che gira quando guarda il sole che tramonta. E cominciamo a vedere che il tempo siamo noi. Siamo questo spazio, questa radura aperta dalle tracce della

memoria dentro le connessioni dei nostri neuroni. Siamo memoria. Siamo nostalgia. Siamo anelito verso un futuro che non verrà. Questo spazio che viene così aperto dalla memoria e dall'anticipazione è il tempo, che forse talvolta ci angoscia, ma che alla fine è un dono.

Un miracolo prezioso che il gioco infinito delle combinazioni ha aperto per noi. Permettendoci di essere. Possiamo sorridere. Possiamo tornare a immergerci serenamente nel tempo, nel nostro tempo che è finito, ad assaporare l'intensità chiara di ogni fuggevole e prezioso momento di questo breve cerchio.

[143](#). *Qo*, 3, 2.

[144](#). Per una presentazione leggera e divertente ma attendibile di questi aspetti del tempo, si veda C. Callender e R. Edney, *Introducing Time*, Icon Books, Cambridge, 2001 (trad. it. *Il tempo a fumetti*, Cortina, Milano, 2009).

[145](#). C'è qualcosa di estremamente interessante nel fatto che questa osservazione di Reichenbach, nel testo di base dell'analisi del tempo nella filosofia analitica, suoni così vicina alle idee da cui parte la riflessione di Heidegger. La divaricazione successiva è enorme: Reichenbach cerca nella fisica quello che sappiamo del tempo del mondo di cui facciamo parte, mentre Heidegger si interessa a quello che è il tempo per l'esperienza esistenziale degli esseri umani. Le due immagini del tempo che ne risultano sono clamorosamente diverse. Sono necessariamente incompatibili? Perché dovrebbero esserlo? Esplorano due problemi diversi: da un lato le effettive strutture temporali del mondo, che si rivelano sempre più scarse man mano che allarghiamo lo sguardo, dall'altro l'aspetto fondante che ha la struttura del tempo *per noi*, per il nostro concreto sentirci («esserci») nel mondo.

LA SORELLA DEL SONNO

L'arco breve dei giorni,
o Sestio,
ci vieta di avviare
lunghe speranze (I, 4)

Nel terzo libro della grande epica indiana, il *Mahābhārata*, uno Yakṣa, potente spirito, domanda a Yudhiṣṭhira, il più anziano e saggio dei Pāṇḍava, quale sia il più grande dei misteri. La risposta risuona attraverso millenni: «Ogni giorno muoiono innumerevoli persone, eppure quelli che rimangono vivono come se fossero immortali». ¹⁴⁶

Io non vorrei vivere come se fossi immortale. La morte non mi fa paura. Ho paura della sofferenza. Della vecchiaia, anche se ora meno, vedendo la vecchiaia serena e bella di mio padre. Ho paura della debolezza, della mancanza di amore. Ma la morte non mi fa paura. Non mi faceva paura da ragazzo, ma allora pensavo fosse solo perché mi sembrava lontana. Ma ora, a sessant'anni, la paura non è arrivata. Amo la vita, ma la vita è anche fatica, sofferenza, dolore. Penso alla morte come a un meritato riposo. Sorella del sonno, la chiama Bach nella meravigliosa cantata BWV 56. Una sorella gentile che verrà presto a chiudere i miei occhi e accarezzarmi la testa.

Giobbe è morto quando era «sazio di giorni». Espressione bellissima. Anch'io vorrei arrivare a sentirmi «sazio di giorni» e chiudere con un sorriso questo breve cerchio che è la vita. Posso gustarne ancora, sì; ancora della luna riflessa sopra il mare; ancora dei baci della donna che amo, della sua presenza che dà senso al tutto; ancora dei pomeriggi delle domeniche d'inverno, sdraiato sul divano di casa a riempire pagine di

segni e formule sognando di strappare un altro piccolo segreto ai mille che ancora ci avvolgono... Mi piace la prospettiva di gustare ancora questo calice d'oro; la vita che pullula, tenera e ostile, chiara e inconfondibile, inaspettata... ma ho già bevuto molto a questo calice dolce e amaro, e se proprio ora arrivasse l'angelo a dirmi: «Carlo, è ora», non gli chiederei di lasciarmi finire la frase. Gli sorriderci e lo seguirei.

La paura della morte mi sembra un errore dell'evoluzione: molti animali hanno un'istintiva reazione di terrore e fuga se si avvicina un predatore. È reazione sana, permette loro di scampare pericoli. Ma è un terrore che dura un attimo, non qualcosa che permane. La stessa selezione ha generato questi scimmioni spelacchiati con lobi frontali ipertrofici dall'esagerata capacità di prevedere il futuro. Prerogativa che certo aiuta, ma che ha messo noi scimmioni davanti alla visione della morte inevitabile; e questa accende l'istinto di terrore e fuga dai predatori. Insomma, penso che la paura della morte sia un'accidentale e sciocca interferenza fra due pressioni evolutive indipendenti, un prodotto di cattive connessioni automatiche nel nostro cervello, non qualcosa che per noi abbia utilità o senso. Tutto ha durata limitata. Anche la razza umana («La Terra ha perso la sua giovinezza; che è passata come un sogno felice. Ora ogni giorno ci porta più vicini alla distruzione, all'aridità» commenta Vyāsa nel *Mahābhārata*).¹⁴⁷ Avere paura del passaggio, avere paura della morte, è come avere paura della realtà, avere paura del sole: perché mai?

Questa è la lettura razionale. Ma quello che ci motiva nella vita non sono argomenti razionali. La ragione serve per chiarirsi le idee, per scovare gli errori. Ma la ragione stessa ci mostra che i motivi per i quali agiamo sono iscritti nella nostra struttura intima di mammiferi, di cacciatori, di esseri sociali: la ragione illumina queste connessioni, non le genera. Non siamo in primo luogo esseri ragionevoli. Lo possiamo forse diventare, più o meno, in seconda istanza. In prima istanza siamo portati dalla sete di vivere, dalla fame, dal bisogno di amare, dall'istinto di trovare il nostro posto in una società umana... La seconda

istanza non esiste neppure senza la prima. La ragione arbitra fra istinti, ma usando gli istinti stessi come criteri primi di arbitraggio. Dà nome alle cose e alla sete, ci permette di aggirare ostacoli, di vedere cose nascoste. Ci permette di riconoscere strategie inefficaci, credenze errate, pregiudizi, e ne abbiamo innumerevoli. Si è sviluppata per aiutarci a capire quando le tracce che seguiamo, pensando ci conducano alle antilopi da cacciare, sono tracce sbagliate. Ma quello che ci porta non è la riflessione sulla vita: è la vita.

Cos'è allora che ci porta veramente? È difficile dirlo. Forse del tutto non lo sappiamo. Riconosciamo in noi motivazioni. Diamo nomi a queste motivazioni. Ne abbiamo tante. Alcune pensiamo di dividerle con molti animali. Altre solo con gli esseri umani. Altre ancora con gruppetti più piccoli a cui percepiamo di appartenere. Fame e sete, curiosità, bisogno di compagnia, voglia di amare, innamoramento, ricerca della felicità, bisogno di conquistarci una posizione nel mondo, di essere apprezzati, riconosciuti, amati, fedeltà, onore, amore di Dio, sete di giustizia, libertà, desiderio di conoscenza...

Da dove viene tutto ciò? Da come siamo fatti, da quello che siamo. Prodotti di una lunga selezione, di strutture chimiche, biologiche, sociali e culturali che su piani diversi hanno a lungo interagito dando origine a questo buffo processo che siamo noi. Del quale, nel nostro riflettere su noi stessi, nel nostro guardarci allo specchio, capiamo solo qualcosa. Siamo più complessi di quanto le nostre facoltà mentali siano in grado di afferrare. L'ipertrofia dei lobi frontali è grande, ci ha permesso di arrivare sulla luna, scoprire i buchi neri e riconoscerci cugini delle coccinelle; ma è ancora insufficiente a chiarire noi a noi stessi.

Lo stesso significato di «comprendere» non ci è chiaro. Vediamo il mondo e lo descriviamo, gli diamo un ordine. Poco sappiamo della relazione completa fra quello che vediamo del mondo e il mondo. Sappiamo che il nostro sguardo è miope. Del vasto spettro elettromagnetico emesso dalle cose non vediamo che una finestrella. Non vediamo la struttura atomica della

materia, né l'incurvarsi dello spazio. Vediamo un mondo coerente che estraiamo dalla nostra interazione con l'universo, organizzato nei termini che il nostro desolatamente stupido cervello è in grado di manipolare. Pensiamo il mondo in termini di sassi, montagne, nuvole e persone, e questo è il «mondo per noi». Sul mondo indipendentemente da noi sappiamo molto, senza sapere quanto sia questo molto.

Ma il nostro pensiero non è solo preda della sua debolezza, lo è ancor più della sua stessa grammatica. Basta qualche secolo, perché il mondo cambi: da diavolacci, angeli e streghe si ripopoli di atomi e onde elettromagnetiche. Basta qualche grammo di funghi, perché l'intera realtà si sciogla davanti ai nostri occhi e si riorganizzi in una forma sorprendentemente diversa. Basta avere un'amica che abbia avuto un episodio schizoide serio e avere passato con lei qualche settimana cercando a fatica di comunicare, per rendersi conto che il delirio è una vasta attrezzatura di teatro, capace di organizzare il mondo, e che è difficile trovare argomenti per distinguerlo dai grandi deliri collettivi che sono il fondamento della nostra vita sociale e spirituale e della nostra comprensione del mondo. A parte forse per la solitudine e la fragilità di chi si allontana dall'ordine comune...¹⁴⁸ La visione della realtà è il delirio collettivo che abbiamo organizzato, si è evoluto, ed è risultato abbastanza efficace per portarci almeno fino a qui. Gli strumenti che abbiamo trovato per gestirlo e accudirlo sono stati molti, e la ragione si è rivelata fra i migliori. È preziosa.

Ma è uno strumento, una pinza. Che usiamo per mettere le mani su una materia fatta di fuoco e di ghiaccio: di qualcosa che percepiamo come emozioni vive e brucianti. Queste sono la sostanza di noi stessi. Ci portano, ci trascinano, le ammantiamo di belle parole. Ci fanno agire. E qualcosa di queste sfugge sempre all'ordine dei nostri discorsi, perché sappiamo che in fondo ogni tentativo di mettere in ordine lascia sempre qualcosa fuori.

E a me sembra che la vita, questa breve vita, non sia che questo: il grido continuo di queste emozioni, che ci trascina,

che proviamo talvolta a chiudere in un nome di Dio, in una fede politica, in un rito che ci rassicuri che tutto alla fine è in ordine, in un grande grandissimo amore, e il grido è bello e splendente. Talvolta è un dolore. Talvolta è un canto.

E il canto, come aveva osservato Agostino, è la consapevolezza del tempo. È il tempo. È l'inno dei Veda che è esso stesso lo sbocciare del tempo.¹⁴⁹ Nel Benedictus della *Missa Solemnis* di Beethoven il canto del violino è pura bellezza, pura disperazione, pura felicità. Vi restiamo sospesi trattenendo il fiato, sentendo misteriosamente che è questa la sorgente del senso. È questa la sorgente del tempo.

Poi il canto si attenua, si placa. «Si rompe il cordone d'argento, la lucerna d'oro s'infrange, si rompe l'anfora alla fonte, la carrucola cade nel pozzo, ritorna la polvere alla terra».¹⁵⁰ E va bene così. Possiamo chiudere gli occhi, riposare. E tutto questo mi sembra dolce e bello. Questo è il tempo.

[146.](#) *Mbh*, III, 297.

[147.](#) Cfr. *Mbh*, I, 119.

[148.](#) A. Balestrieri, *Il disturbo schizofrenico nell'evoluzione della mente umana. Pensiero astratto e perdita del senso naturale della realtà*, «Comprendre», 14, 2004, pp. 55-60.

[149.](#) R. Calasso, *L'ardore*, Adelphi, Milano, 2010.

[150.](#) *Qo*, 12, 6-7.

INDICE ANALITICO

Acri
Adriatico, mare
Agostino, Patricia V.
Agostino d'Ippona
- *Confessioni*
Albert, David Z.
Aldrin, Buzz
Alice
Anassandrida
Anassimandro
Andromeda (galassia)
Antonio
Aristotele
- *Fisica*
Armstrong, Neil
Arstila, Valtteri,
atomismo
atomo
Austin, John L.

Bach, Johann Sebastian
- BWV 56
Balestrieri, Antonio
Barrow, John D.
Beda, il Venerabile
- *De Divisionibus Temporum*
Beethoven, Ludwig van
- *Missa Solemnis*
Bergson, Henri-Louis
Berlino
Besso, Michele
block universe; si veda anche universo-blocco
Bologna
Boltzmann, Ludwig
buco nero

Buddha
Buonomano, Dean
- *Il tuo cervello è una macchina del tempo*
Bussi, Ivana L.
Butterfield, Jeremy

Calasso, Roberto
Callender, Craig
campo gravitazionale
Carnot, Lazare
Carnot, Sadi
- *Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco*,
Carroll, Sean
Cartesio
Cartwright, Nancy
Chamcham, Khalil
Chéreau, Danye
Cina
Clausius, Rudolf
Cleomene
coarse graining
Collodi, Carlo
Coniglio Bianco
Connes, Alain
cono luce
Copernico, Niccolò
coscienza
CPT

DeBroglie-Bohm, teoria di
Democrito
DeWitt, Bryce S.
Dirac, Paul
Dixmier, Jacques
Dorato, Mauro
Duino
Durkheim, Émile

Earman, John
Edelman, Gerald M.
Edney, Ralph
Einstein, Albert
Ellis, George
entropia
Eraclito
eternalismo
Euclide
Europa
Everett, Daniel L.

Finkelstein, coordinate di
Fraassen, Bastiaan C. van
Frank, Adam
Fraser, Julius T.

Galilei, Galileo
Galison, Peter
Giobbe
Gödel, Kurt
Golombek, Diego A.
Goodman, Nelson
Gorgo
Grateful Dead
gravità quantistica
- a loop, *si veda* loop, teoria dei
Graz
Grossmann, Marcel
Guglielmo di Ockham
- *Philosophia Naturalis*

Hafele, Joseph C.
hamiltoniana
Hegel, Georg W.F.
Heidegger, Martin

Heidelberg
Heisenberg, Werner K.
Hilbert, spazio di
Hofmannsthal, Hugo von
Hohwy, Jakob
Huggett, Nick
Hume, David
Husserl, Edmund

Ildegarda di Bingen
- *Liber Divinorum Operum*
Imperial College
Isham, Chris J.
Isidoro di Siviglia
- *Etymologiae*
Ismael, Jenann T.

James, William
Jazayeri, Mehrdad
Jones, Steve

Kahn, Charles H.
Kant, Immanuel
- *Critica della ragione pura*
Kauffman, Stuart A.
Keating, Richard E.
Keplero
Kuchar, Karel

Lachière-Rey, Marc
Lagrange, Joseph-Louis
Lavoisier, Antoine-Laurent
Le Poidevin, Robin
Leibniz, Gottfried W. von
Leonida
Lewis, David
Lichtung

Londra
loop, teoria dei
Lorentz, Hendrik A.
Luigi XVI

MacBeath, Murray
Macbeth
Mahābhārata
Mahāvagga
Maimonide, Mosè
Mante, Valerio
Maroun, Samy
Marsiglia
Marte
Matisse, Henri
Maxwell, James C.
McCartney, Paul
McTaggart, J.M.E.
meccanica quantistica
Mediterraneo, mar
memoria
Il mercante di Venezia
metrica
Michelangelo
Michelson, Albert A.
Milinda
Milindapañha
Morrison, Philip

Nāgasena
Newsome, William T.
Newton, Isaac
– *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*
Nietzsche, Friedrich

Oldenberg, Hermann
onde gravitazionali

Ørsted, Hans Christian

Padre Tempo

Pāṇḍava

Parigi

Parmenide

Penrose, Roger

Persia

Piché, David

Pinocchio

Planck

- costante di

- lunghezza di

- scala di

- tempo di

Platone

- *Timeo*

Pleistarco,

Poincaré, Jules-Henri

Poisson, parentesi di

poliedri regolari

presentismo

Price, Huw

Princeton

probabilità

Proust, Marcel

- *À la recherche du temps perdu; Le Temps retrouvé*

Proxima b

Putnam, Hilary

Qohelet

Quine, Willard V.O.

Reichenbach, Hans

- *La direzione del tempo*

relatività generale

relatività speciale

Rilke, Rainer Maria
- *Elegie duinesi*
Rivoluzione francese
Robespierre, Maximilien de
Russell, Bertrand

Sa'dī di Shiraz
Saunders, Simon
Schilpp, Paul A.
Schrödinger, Irwin
Schwarzschild
- metrica di
- orizzonte di
secondo principio della termodinamica
Sewell, Richard A.
Shadlen, Michael N.
Shenoy, Krishna V.
Silk, Joseph
simultaneità
Sistina, Cappella
Śiva
Smolin, Lee
Sofocle
- *Edipo re*
Sommerfeld, Arnold
Sparta
spaziotempo
spin
- reti di
- schiuma di
Sporns, Olaf
Stati Uniti d'America
Strasburgo, cattedrale di
Strauss, Richard
Sussillo, David

Tempier, Étienne

tempo termico
Tiresia
Tolomeo
Tomita, Minoru
Tomita-Takesaki, teorema di
Tononi, Giulio
Torricelli, Evangelista
tracce
Trieste

Unger, Roberto M.
universo-blocco; si veda anche block universe

Vangelo secondo Matteo
Veda
Vicario, Giovanni B.
Vienna
vincolo
Von Neumann, algebra di
Vyāsa

Wheeler, John A.
Wheeler-DeWitt, equazione di
Wolpert, David H.

Yakṣa
Yudhiṣṭhira

Zeh, Heinz-Dieter
Zen