

LUIGI LAINO

IL MONDO LOCALE: L'ESPERIENZA DELL'OSSERVATORE FRA FISICA RELATIVISTICA E NEUROSCIENZE

SOMMARIO: *1. Introduzione; 2. Il «Weltpostulat» di Minkowski; 3. Il mondo dell'osservatore; 4. Località e neuroscienze.*

1. Introduzione

Nel presente articolo mi propongo di riflettere sul significato del termine «mondo» nella teoria della relatività. Comincerò nel prossimo paragrafo da una breve presentazione dell'interpretazione di Minkowski, il quale, nel 1908, durante la conferenza tenuta di fronte ai ricercatori in scienze naturali a Colonia, parlò di «*Weltpostulat*» riferendosi all'unificazione di spazio e tempo. Mostrerò che si tratta di un'interpretazione a sfondo realista o quantomeno oggettivista, ovverosia scevra dai condizionamenti kantiani secondo cui spazio e tempo sono “forme” della soggettività. Nel terzo paragrafo, cercherò invece di contrapporvi l'approccio trascendentale di Hermann Weyl e Arthur S. Eddington. Suggerirò che il risultato di tale confronto, tanto fisicamente quanto epistemologicamente, consiste nell'identificare il mondo con la realtà locale dell'osservatore. Sulla scia di quest'ultima mossa, nel quarto paragrafo, mi occuperò di mostrare come più recentemente si sia discusso di realtà o mondo locale al crocevia fra filosofia della fisica e neuroscienze.

2. Il «Weltpostulat» di Minkowski

La memoria di Minkowski comincia con una celebre affermazione sullo spazio e sul tempo: «Le intuizioni su spazio e tempo, che vorrei sviluppare davanti a voi, sono emerse sul terreno fisico-sperimentale. Qui sta la loro

forza. La loro tendenza è radicale. Da questo momento lo spazio per sé e il tempo per sé devono decadere completamente al rango di ombre e soltanto una specie di unione di entrambi deve conservare autonomia» [Minkowski 1909, 75]. Questo assunto implica *ipso facto* un'ipotesi più generale sul realismo della descrizione fisica, probabilmente rivolta contro l'influenza della filosofia postkantiana allora dominante negli ambienti accademici di lingua tedesca. Mentre in chiave kantiana le forme *a priori* di spazio e tempo erano sia chiaramente differenziabili sia legate alla soggettività [Kant 1787, B52 ss.], e perciò rendevano necessario il concetto di una realtà inattingibile per l'esperienza – la *cosa in sé* –, in Minkowski ciò che sussiste è proprio il «mondo in sé», un blocco spaziotemporale che non deriva semplicemente dall'aggiunta del tempo alle dimensioni spaziali [Torretti 1984, 98]. Nelle parole di Einstein: «Da un “accadere” nello spazio tridimensionale, la fisica diventa, per così dire, un “essere” nell’“universo” a quattro dimensioni» [Einstein 2011, 88].

Nel programma di Minkowski, un'opzione monistica di questo tipo deve poggiare quindi su un principio di omologia forte, ovvero sia sull'idea che la matematica descriva *immediatamente* l'oggettività fisica. In effetti, il mondo stesso viene rappresentato dall'insieme di tutte le coordinate pensabili nel nuovo spaziotempo quadridimensionale: «Chiamo punto di mondo (*Weltpunkt*) un punto spaziale unito a un punto temporale, cioè un sistema di valori x, y, z, t . La molteplicità di tutti i sistemi pensabili x, y, z, t deve chiamarsi *mondo*» [Minkowski 1909, 76]. Ad ognuno di questi punti corrisponde una «sostanza» – materia o elettricità –, e tutte le leggi fisiche possono essere formulate come relazioni fra le «linee di mondo»¹ [*Weltlinien*], cioè le “traiettorie” descritte dai punti-sostanza.

Il mondo del fisico relativista può così essere ridotto ai diagrammi disegnati da Minkowski, che permettono di determinare il piano causale sottinteso dalle relazioni spaziotemporali.² Queste rappresentazioni

¹ In italiano il termine è tradotto con «linea di universo».

² Torretti ammonisce, infatti, che lo spaziotempo di Minkowski non è uno schema che governa le catene causali, quanto piuttosto un caso particolare di uno «spazio causale» più generale [Torretti 1984, 123-124]. Ne deriverebbe una forma speciale di realismo secondo cui «se postuliamo l'esistenza di un oggetto di questo tipo ci

designano in effetti la struttura causale degli eventi fisici. Se si assume che non vi siano informazioni che si propagano a velocità superluminale e che questa sia costante indipendentemente dalla sorgente, la luce uscente da un punto percorre due assi inclinati ($\alpha \pm 45^\circ$)³ che vanno a costituire «un cono inferiore» (*Vorkegel*) e un «cono superiore» (*Nachkegel*), mentre i punti interni a queste figure sono legati a valori di t rispettivamente minori o maggiori di zero. Di conseguenza, i cosiddetti «coni di luce» connotano il passato e il futuro di un certo evento, al di fuori dei quali non vengono ammesse incidenze causali: un punto che cada fuori da queste regioni – in un intervallo di tipo spazio⁴ – non ha

impegniamo *eo ipso* ad accettare la realtà di tutto ciò che è richiesto per renderlo comprensibile» [Torretti 1984, 129]. Non sarebbe necessaria, nello specifico, alcuna distinzione fra «ordine delle idee» e «ordine delle cose», notoriamente fondamentale per la prospettiva trascendentale.

³ Rovelli ha fatto notare, tuttavia, che sarebbe «molto più realistico» aumentare l'angolo, poiché «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» [Rovelli 2017, 49].

⁴ Per una presentazione esaustiva dello spaziotempo di Minkowski, rimando in generale al primo capitolo di Eddington [1923, 11-40], al quarto capitolo di Friedman [1983, 125-176], al quarto capitolo di Torretti [1984, 88-129], a Penrose [2005, 401-438], al quarto capitolo di Maudlin [2012, 67-105] e al secondo capitolo di Hentschke & Hölbling [2020, 9-33]. Mi limito qui a fare presente, per il nostro discorso, che la nozione d'intervallo, indicante la distanza fra due eventi nello spaziotempo, non è in realtà una vera e propria distanza spaziale. Prendiamo le formule che definiscono il concetto d'intervallo: $d\ell^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$ (1) e $ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ (2) – in queste formule, il primo elemento al secondo membro si ottiene ponendo $c = 1$ a partire da: c^2t^2 e $c^2t'^2$, visto che c può essere usato come unità di misura [Feynman 2004, 151-152]. Utilizzo la notazione di Penrose per sottolineare che in (1) incontriamo la cosiddetta pseudometrica minkowskiana, non definita rispetto alle curve di tipo tempo, e generante pure misure di spazio – l è effettivamente una misura di lunghezza nel senso canonico del termine. Dal momento però che le curve di tipo tempo rappresentano «le possibili linee d'universo delle particelle con massa», a partire da cui si può rendere conto dell'«effettivo *tempo fisico* misurato da un orologio ideale» lungo quelle linee, l'espressione (2), che è positiva lungo le curve di genere tempo, «ha un significato fisico più diretto» [Penrose 2005, 413]. A partire da (2), possiamo così definire le differenze fra gli intervalli, a seconda se ds^2 sia maggiore, minore o uguale a 0. Nel primo caso, avremo un intervallo di tipo tempo; nel secondo, intervalli di tipo spazio; nel terzo, intervalli di tipo luce. Siccome in

una relazione temporale del tutto determinata con un punto che cade all'interno di esse, e non si può dire che si trovi nel passato o nel futuro di un certo osservatore, come mostrato dalla figura:

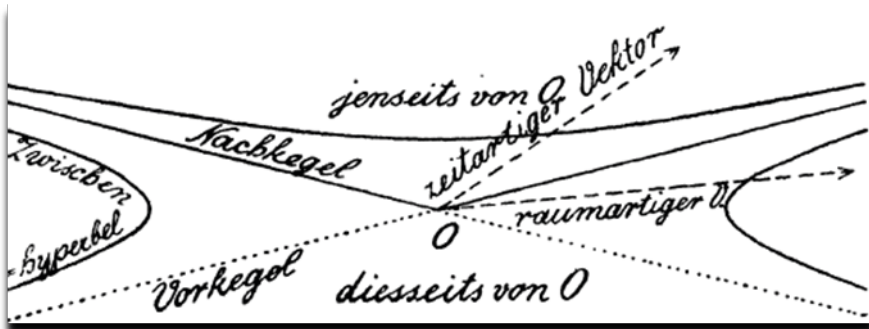


Fig. 1 – La rappresentazione originale del cono di luce in Minkowski [1909, 82]. Il cono inferiore rappresenta la regione dello spaziotempo a partire dalla quale i segnali luminosi influenzano O , mentre il cono superiore la regione raggiungibile con segnali a partire dallo stesso punto. Non c'è invece influenza causale rispetto ai punti delle regioni di tipo spazio.

quest'ultimo caso potrebbe risultare per due punti distinti una distanza uguale a 0 , non possiamo parlare per l'appunto di distanza *sic et simpliciter*. L'intervallo ha però un'altra proprietà molto interessante, ovverosia è invariante per le trasformazioni di Lorentz. Si dimostra in particolare che queste ultime costituiscono il gruppo di trasformazioni dello spaziotempo di Minkowski che ne preservano la struttura geometrica. Per i dettagli matematici, rimando alle fonti citate a inizio nota. Devo però far notare quale sia il cambio di prospettiva sul piano epistemologico. Mentre per la visione comune la «posizione», cioè la «localizzazione» di un evento, sembra primaria, il concetto d'intervallo ci dimostra che il punto di partenza è invece l'«estensione». Ne consegue che, se nel primo caso potevamo calcolare le distanze una volta che erano noti i punti, e se queste apparivano così come astrazioni da situazioni fisiche concrete, con lo spaziotempo accade esattamente il contrario: è la «localizzazione di un oggetto ad essere un risultato computazionale che riassume il fatto fisico per cui esso si trova a certi intervalli da altri oggetti nel mondo. [...] Lo spazio non è un mucchio di punti che stanno gli uni vicini agli altri; è un mucchio di distanze intrecciate» [Eddington 1923, 14]. Ciò fornisce una giustificazione per così dire filosofica dell'invarianza di ds^2 a fronte dei cambiamenti specifici a carico della posizione, del moto o dell'orientamento dei corpi, i quali non possono dipendere da un solo sistema di riferimento.

Le proprietà più interessanti dei diagrammi di Minkowski sono però le trasformazioni. Si cominci dall'immagine seguente:

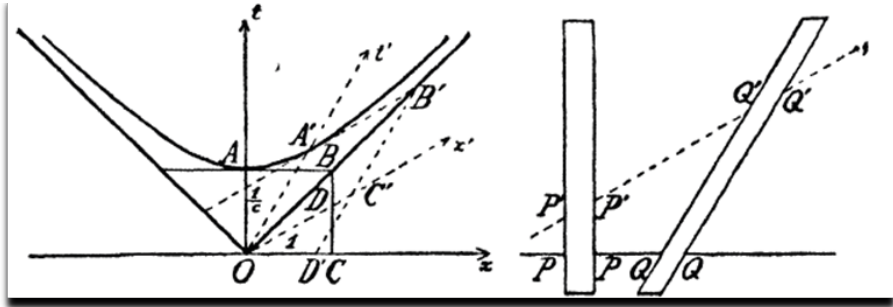


Fig. 2 – Il diagramma di Minkowski tratto da Minkowski [1909, 77].

Osserviamo i sistemi di riferimento tOx e $t'Ox'$. Nel secondo caso, ci sono due nuovi assi per lo spazio (Ox') e il tempo (Ot') e due nuove unità per la loro determinazione, ovverosia OC' e OA' – in tOx , gli assi sono Ox e Ot , le unità di misura OC e OA –; ma, per l'invarianza introdotta nella nota n. 4, dimostrabile matematicamente per il fatto che il luogo dei punti che distano da O dell'intervallo ds^2 è sempre l'iperbole (2), gli osservatori, come detto, misureranno lo stesso intervallo, anche se non la stessa lunghezza, durata o velocità [Minkowski 1909, 77-78; Eddington 1971, 74-75; Hentschke & Hölbling 2020, 13-15]. Le proiezioni nella sezione a destra della fig. 2 mostrano che cosa avvenga se prendiamo in considerazione un mondo bidimensionale (con una sola dimensione spaziale) e un oggetto che abbia «un'estensione spaziale costante» [Minkowski 1909, 80-81]. $P'PPP'$ è un corpo in quiete rispetto a tOx , mentre $Q'QQQ'$ lo è rispetto a $t'Ox'$. Poniamo che l sia la lunghezza a riposo per entrambi. Si trova così rispettivamente che, nel primo caso, la misura di PP è data da $l \cdot OC$, mentre nel secondo caso sarà: $Q'Q' = l \cdot OC'$. Per Minkowski, abbiamo qui le immagini di «due elettroni lorentziani uguali, uno a riposo e uno uniformemente accelerato» [Minkowski 1909, 81] – ma si potrebbe fare l'esempio anche con dei regoli, come fa Eddington [1971, 76] e come aveva fatto Einstein [2001, 139-146], senza il formalismo di Minkowski in quest'ultimo

caso. Ora, però, secondo il «principio di relatività» einsteiniano non abbiamo modo di distinguere fra quiete e moto relativo uniforme in senso assoluto [Einstein 2001, 137; Barone 2013, 86-87]. Si possono infatti esprimere le diverse misurazioni scegliendo ogni volta uno dei due sistemi come stazionario, facendo apparire l'altro in moto. Se tOx è il sistema a riposo, l'«estensione» del secondo elettrone corrisponde alla sezione QQ , parallela all'asse x . In questo caso, risulterà $QQ = l \cdot OD'$; dal momento che:

$$OD' = OC \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3), \text{ con } v = dx/dt, \text{ varrà: } PP:QQ = 1: \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (4).$$

QQ rappresenta pertanto la lunghezza contratta dell'elettrone in moto osservato da xOt in quiete. Viceversa, se poniamo $t'Ox'$ a riposo, l'estensione del primo elettrone corrisponde alla sezione $P'P'$, parallela a Ox' . Troveremo che:

$$P'P' = l \cdot OD, \text{ con } OD = OC' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (5).$$

Minkowski spiega che in questo modo si ottiene, conseguentemente, una contrazione simmetrica del primo elettrone rispetto al secondo, visto che varrà la proporzione: $P'P' : Q'Q' = OD : OC' = OD' : OC = QQ : PP$. Per il tempo vale un ragionamento analogo [Eddington 1971, 77-78].⁵

Il fatto che nelle trasformazioni di Lorentz spazio e tempo vengano “mescolati” simmetricamente [Minkowski 1909, 81] comporta dunque che le leggi della fisica risultino invarianti se le trasformazioni tra sistemi di riferimento inerziali sono descritte proprio dalle trasformazioni di Lorentz piuttosto che da quelle di Galileo. Minkowski, sottolineando

⁵ Si faccia però attenzione a non concepire come «fittizio» uno dei due lati della simmetria, come a suo tempo rivendicato da Bergson [2004, 201-218]: gli effetti relativistici sono reali [Huggett 2010, 168; Maudlin 2012, 77-83]. Per una derivazione più elegante delle trasformazioni nel linguaggio dei quadrivettori, rimando a Friedman [1983, 132-142].

peraltro su questo punto la differenza che intercorre fra il suo approccio nei confronti sia di quello di Lorentz sia di quello di Einstein, introduce così un nuovo gruppo d'invarianza per trasformazioni (G). Egli afferma che non esiste più «lo spazio», bensì infiniti spazi in qualità di versioni particolari delle leggi di trasformazione [Maudlin 2012, 72], ribadendo che il passaggio dalla geometria tridimensionale alla fisica quadridimensionale implica l'assunzione della tesi monista secondo cui esiste soltanto un «mondo in sé» [Minkowski 1909, 79]. Anzi, estendendo l'equipollenza dagli spazi ai tempi, Minkowski suggerisce che «postulato di relatività» sia espressione troppo «fiacca» e ne propone la sostituzione con «*postulato del mondo assoluto*», in breve «*Weltpostulat*». Secondo questo principio, i fenomeni ci mostrano per l'appunto che è dato soltanto il mondo quadridimensionale, sebbene possiamo effettuare con una certa libertà proiezioni nello spazio e nel tempo [Minkowski 1909, 82].⁶

Alla fine della sua conferenza, Minkowski riconosce pertanto che tutte le applicazioni del postulato implicano l'«armonia prestabilita» fra matematica pura e fisica. Come anticipato, il principio di omologia forte è qui esplicitamente connesso al realismo dello spaziotempo.⁷

3. *Il mondo dell'osservatore*

La tesi di Minkowski si può declinare anche così: se il mondo fisico è lo spaziotempo, e se lo spaziotempo è una struttura geometrica, allora la geometria ha un valore intrinsecamente fisico.⁸ Discuto ora

⁶ Il monismo è rinforzato dalla definizione del tempo proprio e dalla sostituzione della coordinata temporale con la relazione $s = it$, laddove i è l'unità immaginaria, in modo da ottenere: $d\tau^2 = -dx^2 - dy^2 - dz^2 - ds^2$ (6). Rispetto a (2), (6) ha il vantaggio di offrire una simmetria più cogente, poiché il tempo ha qui la stessa forma delle coordinate spaziali [Minkowski 1909, 86; Einstein 2011, 88].

⁷ C'è però un altro modo di vedere la questione, di cui discuteremo nel prossimo paragrafo. Per ora, basti rammentare questa citazione di Eddington: «La relazione di *ordine* [...] è intrinseca nella natura, [...] la *forma* viene introdotta nella natura dall'osservatore, quando sceglie le proprie partizioni» [Eddington 1971, 76]. La «relazione di ordine» è l'intervallo, la forma i sistemi di coordinate.

⁸ Il problema è un po' più complesso di così, anche se può essere impostato

se questo sillogismo sia l'unica alternativa possibile per comprendere il concetto di mondo relativistico. Mi riferirò in particolare a Weyl e a Eddington, che per vie diverse difesero un'epistemologia a vocazione trascendentale, cioè che includesse una qualche ipotesi sulle condizioni *soggettive* della conoscenza.

Come noto, Weyl pubblica un manuale, nel 1918, poi ristampato varie volte, dal titolo: *Raum, Zeit, Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie*. In questo testo, egli non abbocca in nessun modo alle allusioni del realismo e anzi definisce spazio e tempo come «*forme di esistenza del mondo reale*» [Weyl 1919, 1], avendo di mira una teoria dell'esperienza di più ampio respiro e di chiara ispirazione fenomenologica [Weyl 1919, 264, nota n. 1]. In primo luogo, per lui è la percezione a istituire il rapporto della coscienza con il mondo: ascriviamo una «reale esistenza» ai corpi che percepiamo in base alle loro qualità formali, cromatiche ecc., e osserviamo che così essi intrattengono delle relazioni, in modo tale da risultare immersi in una «molteplicità indeterminata di realtà analoghe, le quali si saldano in un unico, sempiterno presente mondo spaziale, al quale io stesso appartengo col mio singolo corpo» [Weyl 1919, 2-3]. Come si vede, il soggetto fa ora parte della descrizione spazializzante della realtà fisica. In aggiunta a ciò, il realismo assoluto⁹ viene assorbito dal meccanismo dell'intenzionalità: semplificando un po', possiamo dire che l'oggetto concreto è inizialmente trascendente – una «*Grenzidee*» [Weyl 1919, 4] –, poiché il *prius* è l'atto della coscienza che lo tematizza.

globalmente soltanto con la relatività generale. A tal proposito, Lehmkuhl ha mostrato che la teoria generale non implica la geometrizzazione della gravità, quanto piuttosto l'unificazione di inerzia e gravità [Lehmkuhl 2014]. Qualcun altro però continua a sostenere che la relatività sia «la geometria dello spazio-tempo» [Barone & Giorrello 2016, 80]. A me pare, quindi, che le strategie di unificazione, comunque perseguite, diano l'abbrivio a una concezione monista, sintetizzata da affermazioni del tipo: «*La geometria è un epifenomeno del campo di gravità*» [Rovelli 2021, 70].

⁹ Va comunque segnalato che nel corpo dell'opera si riscontrano istanze realiste relativamente al fatto che tutti i fenomeni fisici sono espressioni della metrica 3+1 del mondo [Weyl 1921, 258]. Alcuni autori hanno però adoperato questo argomento in favore dell'ipotesi strutturalista, in virtù del significato generale di «metrica» [Cassirer 1981, 97-98; De Bianchi 2020, 193-194].

In secondo luogo, Weyl traccia una rapida evoluzione concettuale della fisica: mentre si ritiene classicamente che la scienza estrometta dalla sua giurisdizione le qualità sensibili di tipo soggettivo, la storia della filosofia ha mostrato che ciò è possibile solo fino a un certo punto. La rivoluzione copernicana di Kant ha in effetti mostrato che anche spazio e tempo sono qualità di questo tipo. In tal modo, a partire dai presupposti kantiani, Weyl trae la conseguenza che si possa ridurre in linea di principio ogni qualità a «processi funzionali matematici» esprimibili nei tre parametri spaziali e nel parametro temporale [Weyl 1919, 3], facendo di spazio e tempo condizioni soggettive ma matematizzabili dell'esperienza.¹⁰ Vediamo ora come più nel dettaglio.

Weyl definisce il tempo come «forma originaria del flusso di coscienza» [Weyl 1919, 5]. Mentre, infatti, «numeri» o «concetti» o entità del genere esistono *sic et simpliciter*, per i contenuti di coscienza vale esattamente l'opposto: la loro essenza ha un indice temporale, un contenuto è sempre presente *ora* o non lo è *più* e così via. D'altronde, Weyl aveva già sottolineato, in *Das Kontinuum* riferendosi a Bergson, che la «coscienza del tempo» vivente, cioè la «*durée*», è molto diversa dal concetto fisico di tempo [Weyl 1918, 68-69]: nel primo caso, è la libertà dell'uomo a fare da contrappunto «allo scorrere temporale del mondo» [Weyl 1919, 1] e a rendere perciò quest'ultimo un fenomeno originario della coscienza; nel secondo caso, ci riferiamo al tempo soltanto in analogia alle regole del continuo matematico, quindi a principi logici di successione. Per quanto concerne lo spazio, esso è forma della «realtà corporea» [Weyl 1919, 5] e presupposto del «concetto di congruenza». Infatti, dal momento che ogni «cosa corporea», senza mutare rispetto al suo contenuto, può trovarsi anche in un'altra posizione spaziale, lo spazio è «omogeneo», e perciò sottoponibile a trasformazioni che preservano contenuti o relazioni invarianti.¹¹ Ora, «l'estensione spaziale» [Weyl 1919, 5] costituisce lo sfondo dell'impresa della fisica, ma non la esaurisce, poiché la coscienza, tramite il «fare» (*Tun*) e il «patire» (*Leiden*), proietta sul mondo esterno concetti quali «variazione», «movimento», «divenire».

¹⁰ Un'analoga chiarificazione in termini matematici delle condizioni soggettive dell'intuizione kantiana viene difesa da Cassirer [1910; 1981, in part. cap. 5].

¹¹ Weyl in effetti afferma che, attraverso il «postulato di relatività», il mondo viene posto come omogeneo [Weyl 1919, 129].

In questo modo, abbiamo inoltre un tempo cosmico che assume caratteri causali e, in generale, il «*nesso causale*» diviene la forma delle correlazioni del mondo reale sulla base del tempo.¹²

Tuttavia, quest'ultimo non può non essere soggetto a una ri-spazializzazione, se dobbiamo offrirne una qualche rappresentazione geometrica.¹³ I singoli «ora» vengono rappresentati da «punti temporali», legati da una correlazione di ordine espressa tramite «linee di tempo» (*Zeitstrecke*). Il percorso che congiunge due punti-istanti *AB* contiene, conseguentemente, tutti i momenti che avvengono dopo *A* ma prima di *B*. Questo ci permette poi di valutare la congruenza degli intervalli temporali sulla base di un'omogeneità simile a quella spaziale: qualsiasi intervallo che soddisfi le condizioni di una certa «linea di tempo»¹⁴ può essere trasportato idealmente in un'altra linea di tempo. Se ciò si verifica, il «contenuto esperienziale» (*Erlebnisgehalt*) sarà lo stesso. Nel caso specifico del tempo, però, per ottenere un criterio di uguaglianza occorre aggiungere una condizione preliminare sulla ciclicità dei processi: se si immagina di riportare indietro un determinato sistema isolato, esso dovrà ripercorrere la stessa successione degli stati precedente all'inversione. E questa è esattamente la definizione di «*orologio*» [Weyl 1919, 7].

Le relazioni di anteriorità-posteriorità e uguaglianza così definite costituiscono le condizioni di possibilità della misura. In effetti, si può misurare soltanto quando ciò che si quantifica è omogeneo, e quelle due relazioni o caratterizzano all'unisono tutti i punti temporali,

¹² Questa declinazione del concetto di causalità è piuttosto generale, ma in ottica trascendentale è del tutto giustificabile che sia così. A riguardo, si veda anche Weyl [1981, 60-85]. In termini più strettamente fisici, legati alla relatività, si faccia riferimento invece a Weyl [1919, 175-176, 265-237]. Per una discussione dello spaziotempo di Minkowski come caso speciale di una più generale struttura causale, rimando al già citato Torretti [1984, 123-129].

¹³ Considerazioni analoghe si ritroveranno in Bergson [2004, 53-54].

¹⁴ L'espressione originale del testo di Weyl è «*Zeitstrecke*». Considerando l'estrema generalità dell'introduzione di *Raum*, *Zeit*, *Materie*, traduco con «linea di tempo» e non con «linea di universo di tipo tempo». Si deve dunque tenere presente che qui Weyl non si stia riferendo soltanto allo spaziotempo di Minkowski, bensì alla costruzione del concetto metrico di tempo a partire dalla coscienza pura. Si veda più avanti nel testo.

oppure nessuno di essi. Analogamente ciò varrà per le linee di tempo, cioè per ogni coppia ordinata di punti, quantunque la misurazione sia significativa solo considerando tre punti. Se assumiamo pertanto che, dati A e B , con A che precede B , sia dato soltanto un punto C successivo tale che: $AC = t \cdot AB$, allora anche fra punti O , E e P vigerà la relazione: $OP = t \cdot OE$. In poche parole, la «relazione» t viene definita in termini di prolungamento della linea temporale a partire da due punti dati, in modo tale che possa essere verificata anche l'omogeneità degli intervalli di tempo. Algebricamente, si tratta semplicemente del fatto che, data un'unità di tempo implicante la distanza di due punti-istanti, un terzo punto-istante può risulterne come un multiplo reale.¹⁵ Diviene inoltre possibile la sostituzione di t con altri t^* , cosicché «in ogni data linea unitaria OE viene prodotta, tramite (*), una corrispondenza reversibile ed univoca tra i punti temporali t e i numeri t » [Weyl 1919, 7].

Ora, l'intento di Weyl sarebbe mostrare che una teoria della relatività sia richiesta dal rapporto fra punti e linee di tempo – e in ciò naturalmente l'espressione «teoria della relatività» assume un significato molto ampio. Infatti, essa si dà soltanto in considerazione del fatto che vengano distinti un oggetto della misura, cioè il dato di un oggetto presente alla coscienza attraverso la sua esibizione individuale, e la sua presentazione concettuale. Ciò che si deve esibire si chiamerà «*sistema di coordinate*» [Weyl 1919, 8], mentre la definizione concettuale pertiene alle coordinate. Un sistema di coordinate è dato da una linea di tempo del tipo OE e da una unità di misura. Su questa base si definisce l'equivalenza di due sistemi di coordinate, seguendo il principio che non vi sia in tal caso alcuna proprietà che, riferita all'uno, non appartenga all'altro, contestualmente a una generale formula di trasformazione, del tipo: $t = at' + b$, con $a > 0$, e a e b costanti. A partire da qui, Weyl ricava anche il gruppo delle trasformazioni possibili [Weyl 1919, 8-9].¹⁶

¹⁵ Perché ciò avvenga, è dimostrato da sviluppi posteriori dell'epistemologia di Weyl, esemplificati da un passo siffatto: «L'insieme quadridimensionale dei punti spaziotemporali è il campo in cui possono aver luogo coincidenze di eventi. Uno dei più importanti campi di questo tipo è il continuo dei numeri, che è aperto alla nostra libera costruzione» [Weyl 1981, 69]. Si veda anche Ryckman [2005, 134].

¹⁶ Sarebbero le seguenti: 1) l'identità $t = t'$; 2) $t' = (1/a)t - b/a$; 3) dati $t = at' + b$, $t' = a't'' + b'$, si ha: $t = a*t'' + b^*$, con $a^* = a \cdot a'$, $b^* = (ab') + b$ [Weyl 1919, 8-9].

Naturalmente, agli occhi di un fisico una spiegazione del genere deve sembrare bislacca – e non a caso suscitò scalpore ai tempi [Ryckman 2005, 115-116]. Ciò dipende dal ruolo fondativo che la filosofia vi gioca, poiché qui non si tratta di usare gli strumenti di quest'ultima per chiarificare i risultati che la scienza raggiunge autonomamente attraverso il suo metodo. Piuttosto, si vuole mostrare quali siano le condizioni di possibilità della conoscenza scientifica a partire dai fondamenti della coscienza, almeno per come quest'ultima è descritta dalla fenomenologia husserliana [Weyl 1981, 72-73; Ryckman 2005, 131-136]. Lo dimostra un passaggio inserito nell'edizione successiva del manuale:

I numeri ci danno la possibilità di estrapolare dal continuo temporale, relativamente a una linea unitaria *OE*, singoli punti temporali in modo concettuale e pertanto oggettivo e pienamente esatto. Ma questa oggettivazione non addivene all'intuizione completamente attraverso la disattivazione dell'io e della sua vita immediata; il sistema di coordinate, che si può mostrare soltanto attraverso un'azione individuale (e soltanto approssimativa), rimane un residuo necessario dell'annullamento dell'io (*Ich-Vernichtung*) [Weyl 1921, 7-8].

Mentre quindi Einstein si era già incamminato per la strada che lo avrebbe portato al concetto di arbitrarietà delle coordinate, Weyl insiste sul fatto che la pura libertà del matematico di descrivere il mondo fa i conti con un condizionamento soggettivo che viene poi annullato nello spaziotempo [Ryckman 2005, 132]. Il sistema di riferimento, benché sia definito logicamente nei termini delle triplette di punti e delle linee unitarie, è infatti legato a misurazioni e osservazioni specifiche, e soltanto le coordinate gli attribuiscono il grado di astrazione che gli è proprio.¹⁷

¹⁷ Cfr. Giovanelli [2021]. Einstein, come noto, avrebbe poi rinforzato, in questo modo, le sue convinzioni circa lo statuto convenzionale degli assiomi geometrici [Einstein 1979, 207-234]. Matematicamente, la differenza risulta dal fatto che la nozione di invarianza di gauge, introdotta da Weyl, sia più restrittiva di quella di covarianza generale [Ryckman 2005, 160-166]: per Weyl, la misurabilità diretta di oggetti distanti attraverso regoli va infatti respinta [Hentschel 1990, 270-271]. In ultimo, faccio notare che la posizione di Weyl culminerà nell'idea che la metrica per ogni punto di una varietà sia *a priori*, in quanto identifica il carattere puramente infinitesimale

Questa singolare tensione fra elementi oggettivi, idealistici e residui soggettivi [De Bianchi 2020, 188] mostra così una via d'uscita dall'omologia forte di Minkowski. Se il coinvolgimento degli oggetti nell'orizzonte relativistico implica che la teoria della relatività non può essere soltanto una teoria dei punti-eventi, ma deve estendersi alle «forme di questo mondo», cioè spazio e tempo, e alle loro trasformazioni generali, il sistema di coordinate definisce localmente l'osservatore e le trasformazioni ci permettono di passare da una realtà all'altra. Possiamo così dire che la realtà dell'osservatore è in un certo senso la sua «*Umwelt*» [Fraser 1991, 354] e che lo spaziotempo costituisce piuttosto l'orizzonte di tutti gli osservatori possibili – cioè di tutte le *Umwelten*, la *Welt*. Tale orizzonte, però, non rappresenta nulla di assoluto, proprio per via della *Ich-Vernichtung*.

Lo schema che allego di seguito restituisce una visione complessiva di quanto rilevato finora:

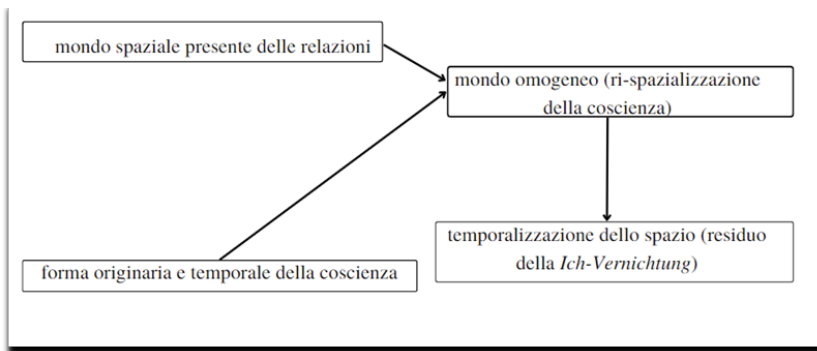


Fig . 3 – Schema raffigurante i passaggi della teoria dell’esperienza di Weyl. Come si vede, il monismo dello spaziotempo è escluso quale assunzione preliminare della teoria.

Eddington raggiunge un risultato paragonabile a questo, ma non identico. Nel famoso *Space, Time and Gravitation*, edito nel 1920 e già ristampato l’anno seguente, l’astronomo britannico sostiene un idealismo trascendentale per certi versi ancora più tenace di quello di Weyl.

dello spazio dell’intuizione, mentre il suo “orientamento” è *a posteriori*, dipendendo da distribuzioni casuali di materia ed energia [Ryckman 2005, 154-158].

Nell'ultimo capitolo del testo, intitolato significativamente *Sulla natura delle cose*, Eddington muove dalla considerazione che l'universo quadridimensionale corrisponde realmente al «mondo» esterno [Eddington 1971, 219]. D'altra parte, con ciò non viene assunta nessuna omologia in senso forte; al contrario, l'unica verità possibile nello spaziotempo relativistico è una *summa* di tutte le prospettive e perciò, *in abstracto*, la fisica descrive il mondo dal punto di vista di nessuno in particolare [Eddington 1971, 47-48]. Ciò comporta, tuttavia, che la realtà identificata a partire da un certo sistema di coordinate non costituisce una rappresentazione ingannevole da sacrificare sull'altare di un'immagine concorrente, sicché ogni descrizione conserva il suo valore.

Ci sono ora tre vie seguendo le quali si comprende l'inclinazione trascendentale di questa epistemologia e la sua differenza dalla teoria dell'esperienza di Weyl e dal realismo di Minkowski. L'una, che in realtà appare dopo nel testo del capitolo, è quella che caratterizza la differenza nel considerare i singoli sistemi di coordinate rispetto agli atti costitutivi della soggettività, in Weyl primari e in Eddington derivati [Ryckman 2005, 187]. Se in Weyl il sistema di coordinate è espressione degli atti intenzionali di una coscienza trascendentale di natura prevalentemente temporale, in Eddington si tratta più chiaramente di selezioni parziali discendenti da una logica di tipo strutturalista.¹⁸ L'affermazione che il mondo sia quadridimensionale presuppone, in effetti, una qualche «relazione d'ordine», che nella teoria della relatività corrisponde alla nozione di «intervallo» [Eddington 1971, 235]. Più in generale, Eddington ritiene che anche altri oggetti relativistici, e in realtà le stesse equazioni della relatività, siano «semplicemente delle definizioni del modo in cui certi stati dell'universo [...] si imprimono nelle nostre percezioni» [Eddington 1971, 239]; e che «la connessione fra l'analisi

¹⁸ Si tenga presente, però, che la definizione di geometria del mondo è quantomeno affine: «Spazio di possibilità eidetiche costituenti l'unità di senso del mondo che contiene i particolari reali della fisica dei campi» [Ryckman 2005, 140]. In linea generale, anche l'idealismo di Weyl presuppone così che la realtà oggettiva vada costruita simbolicamente nei termini di relazioni facenti capo a invarianti, perché un rapporto diretto con l'oggettività spaziotemporale è impossibile [Hentschel 1990, 272-274; Bell & Korté 2016; De Bianchi 2020].

matematica e gli oggetti dell'esperienza viene stabilita normalmente non determinando che cosa sia la materia, ma dalle proprietà di certe combinazioni della materia» [Eddington 1971, 240]. In sintesi, i presupposti trascendentali sono ricavati da relazioni fisico-matematiche e poi riprodotti in certe relazioni fra le percezioni, non viceversa.

Eddington però non rinuncia contestualmente al mondo dell'intuizione. In questo modo, la geometria spaziotemporale diviene il prodotto di un'elaborazione complessa, radicata nel rapporto fra mente umana ed esperienza e costituente perciò una seconda linea trascendentale. Il punto di partenza dell'esperienza rimane infatti «la percezione immediata del mondo con un occhio solo»; il mondo bidimensionale che ne scaturisce viene poi integrato tridimensionalmente dal cervello, che elabora le informazioni provenienti dall'altro occhio. Questo punto di vista è però ancora statico, poiché abbraccia soltanto le posizioni possibili dell'osservatore. Non appena si consideri invece anche il moto di quest'ultimo, si deve aggiungere un'ulteriore dimensione [Eddington 1971, 49 *et passim*].

Infine, l'ultima versione presuppone che i principi di conservazione discendano dall'esigenza di «permanenza» veicolata dalla mente. Dall'imposizione di questi vincoli emergono per l'appunto i singoli punti di vista che osserviamo nella scelta di certi sistemi di riferimento, o più in generale, la preferenza a identificare nella materia l'autentico oggetto della fisica, anche se le strutture più affidabili e importanti sarebbero gli intervalli, i potenziali e le relazioni [Eddington 1971, 247]. Questo è un passo esemplificativo di Eddington al riguardo:

Noi abbiamo un universo di eventi puntuali insieme con le loro relazioni dell'intervallo primarie. Da queste si può costruire matematicamente un numero illimitato di relazioni e di qualità più complicate, descriventi le varie caratteristiche dello stato dell'universo. Queste relazioni e qualità esistono in natura nello stesso senso in cui in una brughiera aperta esiste un numero illimitato di sentieri possibili. Ma la loro esistenza è, per così dire, latente, a meno che qualcuno dia un significato a un sentiero percorrendolo; e nella stessa maniera l'esistenza di una qualsiasi di tali qualità dell'universo acquista un significato superiore a quello delle altre, solo se una mente la sceglie riconoscendola. [...]

È troppo affermare che la ricerca da parte della mente di qualcosa di permanente ha creato il mondo della fisica? [...] Tutte queste leggi di natura che sono state tessute in uno schema unificato (meccanica, gravitazione, elettrodinamica e ottica) hanno la loro origine non in uno speciale meccanismo della natura, ma nell'attività della mente. [...] Dove la scienza è avanzata di più, la mente non ha fatto che riprendersi dalla natura ciò che la mente stessa aveva posto nella natura [Eddington 1971, mod., 248-252].

L'inflessione trascendentale di questa posizione è talmente evidente che avrebbe poco senso ricordare la celebre citazione kantiana [Kant 1787, B XVII-XVIII] circa il fatto che conosciamo delle cose soltanto ciò che poniamo in esse.¹⁹

Ora, anche se la posizione di Eddington non è fondata su basi filosofiche esplicite o del tutto coerenti,²⁰ è proprio per questo che essa è forse ancora più interessante di quella di Weyl. In un certo senso, essa deriva dalla situazione di fatto. Siamo propensi ad ammettere che la fisica debba porsi come obiettivo la comprensione oggettiva della realtà; per fare questo, essa deve sottostare sia al criterio di eternalità, secondo cui esiste un mondo esterno indipendente dal soggetto, sia al principio in ragione del quale una tale realtà esterna deve essere descritta dal punto di vista di nessuno in particolare. Ciononostante, sembra innegabile che i singoli osservatori siano latori di un'istanza determinatrice di secondo

¹⁹ Va rilevato che, sorprendentemente, Eddington considera però le teorie quantistiche dell'epoca come oggettiviste o eternaliste, cioè non legate al «dispotismo della mente» e postulanti l'esistenza di una realtà indipendente [Eddington 1971, 249-250].

²⁰ Il riferimento diretto di Eddington sarebbe, in effetti, non una qualche forma di «idealismo soggettivo», bensì la metafisica razionalistica di Clifford di stampo cartesiano, che per certi versi aveva anticipato la relatività generale [Ryckman 2005, 190-191]. La «geometria del mondo» rappresenta, pertanto, un analogo «mind-stuff» dello spaziotempo e perciò il monismo oggettivistico dovrebbe essere rimpiazzato dal monismo idealista, laddove «mind» non equivale esattamente a «mente» o «coscienza» e «stuff» non rimanda a qualcosa di completamente materiale [Eddington 1929, 276; Ryckman 2005, 216-217]. Una tale tendenza, come ho suggerito, non è in ogni caso aliena allo strutturalismo cassireriano [Ryckman 2005, 187-188]. Su queste basi, Hentschel aveva preferito parlare di Eddington come di un «caso speciale», sebbene non avesse mancato di sottolineare che la sua interpretazione potesse essere gettata nel calderone soggettivistico-idealistico [Hentschel 1990, 473-480].

grado che, in realtà, dal punto di vista di una teoria dell'esperienza, è primaria. Le interpretazioni di Weyl o di Eddington, legate a ipotesi sulla formazione soggettiva della realtà locale dei sistemi di coordinate [Ryckman 2005, 136-144] e persino a considerazioni sull'influenza della mente *tout court* sulla realtà, offrono così il destro per introdurre la discussione più recente sul tema, al crocevia fra fisica e neuroscienze.

4. Località e neuroscienze

In ambito neuroscientifico è sempre più frequente trovare pubblicazioni in cui vi sia almeno una sezione o un capitolo dedicati alla teoria della relatività. Generalizzando un po', l'idea è che se il cervello è in grado di elaborare informazioni di tipo visivo, acustico e così via, allora è necessario prendere in considerazione le teorie fisiche che descrivono queste informazioni ed effettuare un'analisi comparativa e integrativa. Di conseguenza, il mondo dell'osservatore può essere studiato soltanto all'intersezione fra le proprietà del cervello e quelle della realtà fisica. In questo paragrafo esaminerò quindi alcuni spunti provenienti dalle neuroscienze e dalla filosofia della fisica. Cominciamo da quest'ultima.

In un libro dedicato al concetto di tempo, Mauro Dorato ha passato in rassegna una serie di alternative per la rappresentazione della realtà locale dell'osservatore. Il modello che, a suo avviso, si accorda maggiormente con l'esperienza è quello del presente conico. In linea teorica, dal punto di vista puramente fisico, abbiamo visto che possiamo costruire rappresentazioni causalmente coerenti del mondo attraverso i coni di luce: in questo modo, la determinazione della simultaneità viene fissata in base all'unità di misura della velocità della luce, cioè nell'ottica del rapporto 300 000 km/s. Tuttavia, la nostra percezione non può spingersi così lontano e, anzi, le stime del presente conico sembrano addirittura ottimistiche.²¹ Il modello geometrico viene comunque costruito in questo modo. Attestato che l'intervallo minimo per la distinzione di segnali luminosi sia 30 millisec. per il cervello umano lo spazio di simultaneità sarà uguale a: $(3 \times 10^5) \times (3 \times 10^{-2}) = 9 \times 10^3$ km, cioè 9000 km. Si può così disegnare la seguente figura:

²¹ Benini fissa l'orizzonte di simultaneità a 10^{-15} m [Benini 2017, 55].

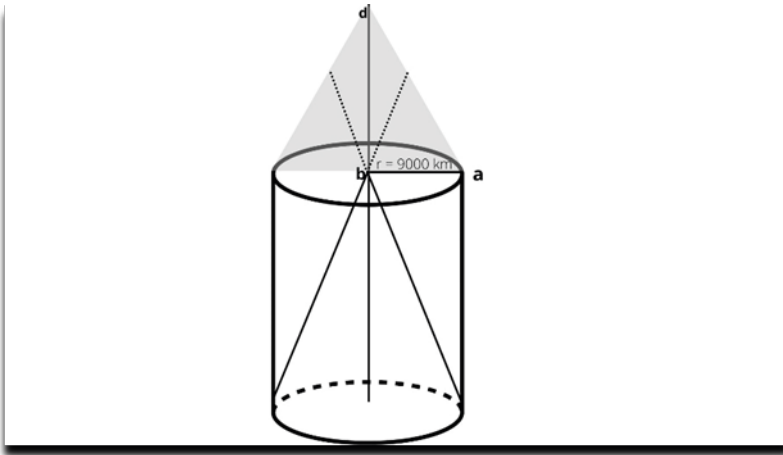


Fig. 4 – Il presente conico [Dorato 2013, 58].

Se d è un evento sulla nostra linea di universo e a un evento che accade a 9000 km di distanza dal nostro corpo, percepiremo a e d simultaneamente. Per esempio, un evento che accadesse a New York, giudicato da Roma, sarebbe ancora simultaneo – la distanza è 6889 km. Tuttavia, lo sarebbe perché il nostro cervello non riuscirebbe a percepire i 22 millisec. necessari alla luce per compiere il viaggio [Rovelli 2017, 41-49]. Come si vede, quindi, anche dal punto di vista della riflessione fisica il realismo del mondo spaziotemporale deve scendere a patti con le condizioni soggettive, almeno *lato sensu*, della conoscenza. E così possiamo passare alle neuroscienze.²²

Stando a quello che sappiamo, il cervello è sia una vera e propria macchina del tempo, ragion per cui l'identificazione fenomenologica della coscienza come forma originaria del tempo è stata confermata sul piano scientifico, sia una macchina che in realtà muove dalla spazializzazione (tempo compreso). Si possono infatti rinvenire, da un

²² Ci si potrebbe chiedere se una certa riduzione della mente o dell'intelletto al cervello sia compatibile con un programma di tipo trascendentale. Stando a quanto dice Cassirer di Schopenhauer, e prescindendo dalla metafisica della volontà di quest'ultimo, sembrerebbe di sì [Cassirer 1955, 521-522]. Ciò vale almeno nel senso in cui anche per le neuroscienze contemporanee risulta il principio secondo cui tolto il cervello è rimossa anche la realtà spaziotemporale e l'oggettività in genere.

lato, le testimonianze di un neurochirurgo come Arnaldo Benini, il quale ha argomentato che le alterazioni patologiche del cervello suggeriscono che, in condizioni normali, il tempo costituisce la forma della nostra esperienza [Benini 2017, 17 *et passim*]. Dall'altro, il neuroscienziato Dean Buonomano, che ha adoperato l'analogia sopracitata con la macchina del tempo, ha messo in rilievo che il cervello comincia spazializzando il tempo. Ciò sarebbe dimostrato dall'incidenza delle distanze spaziali in alcuni esperimenti pianificati per la valutazione degli intervalli temporali, secondo il cosiddetto «kappa effect» [Casasanto 2010]. Come spiegare questa apparente contraddizione?

Dal punto di vista fisiologico, l'attivazione dei neuroni dell'ippocampo costituisce lo sfondo cerebrale della comprensione del tempo. Il coinvolgimento di quest'area indica così immediatamente la natura spaziale del fenomeno. L'integrazione di memoria e navigazione spaziale comporta inoltre che la spazializzazione si apprende in rapporto all'esperienza, di modo che se siamo ora tentati d'identificare il mondo con l'*a priori* spaziale, almeno non possiamo pensarvi come a un'immagine preconfezionata o ereditata geneticamente. Al contrario, per *a priori* dobbiamo qui intendere la capacità soggettiva di formare delle mappe [Kandel 2017, 315]. Queste ultime sono quindi adattabili alle circostanze e le loro coordinate non hanno un significato assoluto, un po' come accade per la relatività.

Buonomano riferisce ancora di una serie di occorrenze che rendono plausibile l'ipotesi che il tempo entri a far parte delle mappe tramite l'inclusione del concetto di movimento. In primo luogo, i bambini imparano prima a gestire problemi riguardanti il concetto di velocità e poi quello di tempo. In secondo luogo, le metafore spaziali nel linguaggio sono prevalenti rispetto a quelle temporali, segno che il tempo è un concetto derivato o emergente rispetto a quello di spazio [Buonomano 2018, 214-231]. In terzo luogo, se a livello cerebrale pare sussistere un substrato corticale che incorpora i diversi aspetti della definizione di grandezza, cioè di spazio, tempo e numero [Bueti & Walsh 2009], e che sembra funzionare in buona parte indipendentemente dalle vie di elaborazione del linguaggio [Vallortigara & Panciera 2014], è proprio il concetto di movimento a costituire l'elemento decisivo per l'emergenza del tempo. Infatti, quando la comparazione degli intervalli temporali

non riguarda più singoli eventi spaziali (per esempio punti sullo schermo) ma si rivolge alla valutazione di traiettorie dinamiche, si attiva la corteccia supplementare motoria [Coull *et al.* 2015].

Se recuperiamo lo schema di Weyl del paragrafo precedente, possiamo pertanto renderlo più lineare nel modo seguente:

mondo omogeneo (spazializzazione del tempo) $\Rightarrow$ capacità di creare mappe (sistemi di coordinate) $\Rightarrow$ emergenza definitiva del tempo tramite l'integrazione del movimento.

Sembra strano, di conseguenza, ritrovarsi spaesati di fronte allo spaziotempo di Minkowski. Rilevano però due aspetti. In primo luogo, se la spazializzazione è operata dalla mente o dal cervello, non può essere definita in termini oggettivistici. In secondo luogo, all'interno del «mondo in sé», il tempo non costituisce una qualità emergente: esso, come abbiamo visto, è semplicemente coinvolto *ab origine* nella definizione della struttura causale dello spaziotempo. È possibile, dunque, che se, dal punto di vista ontogenetico, l'*a priori* della coscienza diventi temporale nel corso degli anni, una volta consolidato il passaggio risulti complesso rappresentarsi un mondo senza coordinate spaziotemporali ordinarie.²³

Se si pensa al mondo di un fotone, per esempio, non abbiamo né passaggio di tempo né spazio – tutti gli intervalli si riducono a 0 sulla linea d'universo del raggio di luce [Fraser 1991, 229-230]. Anche altre testimonianze procedono nella direzione di questa difficoltà. Eddington aveva sottolineato che il «mind-stuff» non è esteso nello spazio e nel tempo [Eddington 1929, 277]. Maudlin ha scritto inoltre che non c'è bisogno di coinvolgere la velocità per ricavare le definizioni degli intervalli nello spaziotempo [Maudlin 2012, 75], sicché mancherebbe la base, nella fisica relativistica, per la formazione della “versione mentale” del concetto di tempo. Come si potrebbe, sembra dunque legittimo

²³ Segnalo che uno dei modi di risolvere la questione, oggi, è coniugare l'approccio fisico e quello neuroscientifico, in modo da concepire il tempo come una struttura emergente a più livelli, partendo da una realtà fisica fondamentale di tipo processuale, per poi giungere, attraverso varie mediazioni, al tempo lineare della coscienza [Buonomano & Rovelli 2021].

chiedersi, accordare tutto ciò con la natura della nostra mente? Una risposta plausibile, anche se negativa, proviene da Feynman: «Quando [...] ci muoviamo ad alta velocità, il nostro cervello non ricalcola immediatamente le coordinate spaziali e il tempo, perché non abbiamo esperienza effettiva di moto a velocità prossime a quelle della luce, per renderci conto del fatto che anche il tempo e lo spazio sono della stessa natura» [Feynman 2004, 147].

In ultima analisi, le condizioni soggettive per la definizione della realtà fisica sembrano inaggirabili sotto un duplice aspetto. Per un verso, ci consentono di comprendere meglio, comparativamente, le caratteristiche del «mondo in sé» dei fisici; per l'altro, in virtù della differenza che così si ricava fra quest'ultimo e il mondo dell'osservatore, non si può dismettere il ruolo determinante svolto dal cervello nell'elaborazione della percezione e così nell'esperienza di un osservatore. L'importanza della mente, in questo doppio senso, si conserva così almeno per il concetto fisico di mondo locale.

Bibliografia

- Barone. V. [2013], *L'ordine del mondo. Le simmetrie in fisica da Aristotele a Higgs*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Barone, V., Giorello, G. [2016], *La matematica della natura. Raccontare la matematica*, Bologna, il Mulino.
- Bell, J.L., Korté, H. [2016], Hermann Weyl, in: E.N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/weyl/> (ultima verifica: 29.08.2022)
- Benini, A. [2017], *Neurobiologia del tempo*, Milano, Cortina.
- Bergson, H. [2004], *Durata e simultaneità. A proposito della teoria di Einstein e altri testi sulla teoria della relatività* (1923), tr. it. di F. Polidori, Milano, Cortina.
- Bueti D., Walsh, V. [2009], The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes, in: *Phil. Trans. R. Soc. B* 2009 364, 1831-1840.

- Buonomano, D. [2018], *Il tuo cervello è una macchina del tempo. Neuroscienze e fisica del tempo*, tr. it. di E. Griseri, Torino, Bollati Boringhieri (ed. or. 2017).
- Buonomano, D., Rovelli, C. [forthcoming], Bridging the neuroscience and physics of time, preprint, in: R. Lestienne, P. Harris (eds.), *Time and Science*, Singapore, World Scientific.
- Casasanto, D. [2010], Space for Thinking, in: V. Evans, P. Chilton (eds.), *Language, Cognition, and Space: State of the Art and New Directions*, London, Equinox Publishing, 453-478.
- Cassirer, E. [1910], *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*, Berlin, Cassirer.
- Cassirer, E. [1955], *Storia della filosofia moderna. III: Il problema della conoscenza nei sistemi postkantiani*, tr. it. di E. Arnaud, Torino, Einaudi (ed. or. 1920).
- Cassirer, E. [1981], *La teoria della relatività di Einstein. Considerazioni gnoseologiche*, ed. it. a cura di G. Raio, Roma, Newton Compton (ed. or. 1921).
- Coull, J.T., Charras, P., Donadieu, M., Droit-Volet, S., Vidal, F. [2015], SMA selectively codes the active accumulation of temporal, not spatial, magnitude, in: *Journal of Cognitive Neuroscience* 27 (11), 2281-2298.
- De Bianchi, S. [2020], Weyl's *Raum-Zeit-Materie* and the philosophy of science, in: S. De Bianchi, C. Kiefer (eds.), *One Hundred Years of Gauge Theory. Past, Present and Future Perspectives*, Cham, Springer, 185-196.
- Dorato, M. [2013], *Che cos'è il tempo? Einstein, Gödel e l'esperienza comune*, Roma, Carocci.
- Eddington, A.S. [1923], *The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Eddington, A.S. [1929], *The Nature of the Physical World*, London et al., Cambridge University Press.
- Eddington, A.S. [1971], *Spazio, tempo e gravitazione. La teoria della relatività generale*, tr. it. di L. Bianchi, Torino, Bollati Boringhieri (ed. or. 1920).

- Einstein, A. [1979], *Autobiografia scientifica*, ed. it. a cura di A. Gamba, Torino, Bollati Boringhieri (ed. or. 1948).
- Einstein, A. [2001], *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*, in: J. Stachel (a cura di), *L'anno memorabile di Einstein. Cinque scritti che hanno rivoluzionato la fisica del Novecento*, tr. it. di E. Ioli, Bari, Dedalo (ed. or. 1905).
- Einstein, A. [2011], *Relatività. Esposizione divulgativa*, ed. it. a cura di B. Cermignani, Torino, Bollati Boringhieri (ed. or. 1916).
- Feynman, R. [2004], *Sei pezzi meno facili*, tr. it. di G. Rigamonti, Milano, Adelphi (ed. or. 1963).
- Fraser, J.T. [1991], *Il tempo: una presenza sconosciuta*, tr. it. di L. Cornalba, Milano, Feltrinelli.
- Friedman, M. [1983], *Foundations of Space-Time Theories. Relativistic Physics and Philosophy of Science*, Princeton/Guildford, Princeton University Press.
- Giovanelli, M. [2021], Nothing but coincidences: The point-coincidence and Einstein's struggle with the meaning of coordinates in physics, in: *European Journal for Philosophy of Science* 11 (45), 1-64.
- Hentschel, K. [1990], *Interpretationen und Fehlinterpretationen der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie durch Zeitgenossen Albert Einsteins*, Basel et al., Birkhäuser.
- Hentschke, R., Hölbling, C. [2020], *A Short Course in General Relativity and Cosmology*, Cham, Springer.
- Huggett, N. [2010], *Everywhere and Everywhen*, Oxford/New York, Oxford University Press.
- Kandel, E. [2017], *Alla ricerca della memoria. La storia di una nuova scienza della mente*, tr. it. di G. Olivero, Torino, Codice (ed. or. 2006).
- Kant, I. [1787²], *Kritik der reinen Vernunft*, in: *Kant's Gesammelte Schriften*, hrsg. von der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Berlin/New York, De Gruyter, vol. III. <https://korpora.zim.uni-duisburg-essen.de/Kant/aa03/> (ultima verifica: 29.08.2022)
- Lehmkuhl, D. [2014], Why Einstein did not believe that general relativity geometrizes gravity, in: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 46, 316-326.

- Maudlin, T. [2012], *Philosophy of Physics. Space and Time*, Princeton, Princeton University Press.
- Minkowski, H. [1909], Raum und Zeit, in: *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* 18 (I), 75-88.
- Penrose, R. [2005], *La strada che porta alla realtà*, tr. it. di E. Diana, Milano, Rizzoli (ed. or. 2004).
- Rovelli, C. [2017], *L'ordine del tempo*, Milano, Adelphi.
- Rovelli, C. [2021], *Relatività generale*, tr. it. di P. Frisoni, Milano, Adelphi.
- Ryckman, T. [2005], *The Reign of Relativity. Philosophy in Physics 1915-1925*, Oxford/New York, Oxford University Press.
- Torretti, R. [1984], *Relativity and Geometry*, Oxford et. al., Birkhauser.
- Vallortigara, G., Panciera, N. [2014], *Cervelli che contano*, Milano, Adelphi.
- Weyl, H. [1918]. *Das Kontinuum. Kritische Untersuchungen über die Grundlagen der Analysis*, Leipzig, Weit & Co.
- Weyl, H. [1919], *Raum, Zeit, Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie*, 3^a ed., Berlin, Springer.
- Weyl, H. [1921], *Raum, Zeit, Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie*, 4^a ed., Berlin/Heidelberg, Springer.
- Weyl, H. [1981], *Il mondo aperto*, tr. it. di E. Moriconi, Torino, Bollati Boringhieri (ed. or. 1932).

The Local World: How the Observer Experiences the World in Light of Relativistic Physics and Neuroscience

Keywords

transcendental philosophy of physics; spacetime; neuroscience; observers; local world

Abstract

In this paper, I have defended a transcendental interpretation of the concept of «world» in relativity theory. I have shown that despite the objectification implied by the unification of space and time (section one), subjective conditions are still relevant for the construction of spacetime. Therefore, I have tackled Weyl's and Eddington's interpretations of relativity in the second section. Weyl, influenced by Husserl, endorsed the vision that local reality is built via the temporal form of consciousness. Although with less famous philosophical references, Eddington peculiarly sided with idealistic trends. He defined the physical world as the description of events or objects from the standpoint of no one in particular. Therefore, world-geometry, that is, spacetime diagrams and the geometry adopted in relativity, is conceived regardless of its actualizations. However, it turned out that the mind imposes its demands (such as permanence or contiguity) on the physical world and that measurements set up particular conditions. Finally, I have tried to revise these statements in light of the contemporary debate in the philosophy of physics and neuroscience. I have shown that the world, conceived of as local reality, should be studied by combining assumptions on the nature of the mind or brain with the physical properties of signals.

Luigi Laino

Docente a contratto per “Teorie della relazione mente-corpo”, Università della Basilicata, Italia

E-mail: luigi.laino@unibas.it