



CENT'ANNI DI RELATIVITÀ
UN PUNTO DI VISTA FILOSOFICO

«È davvero strano come la gente sia spesso sorda agli argomenti più validi e sia invece propensa a sopravvalutare la precisione delle misure»

Albert Einstein, lettera a Max Born, 1952

Ci troviamo ad un secolo dalla nascita della teoria della relatività: il 30 giugno del 1905, *Annalen der Physik* ricevette il manoscritto “Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento” di un impiegato dell'Ufficio Brevetti di Berna, il ventiseienne Albert Einstein (1879-1955); un articolo “esplosivo” che avrebbe innescato “la rivoluzione” – la *seconda rivoluzione scientifica*, come si sarebbe rinominata con gli occhi del poi nel confronto con *la prima* di Copernico-Galileo-Newton – facendolo diventare l’“autorità” per eccellenza, come egli stesso ebbe a dire: «Per punirmi del mio disprezzo nei confronti dell'auto-rità, il Fato fece un'autorità di me stesso»¹.

Albert Einstein fu l'artefice della metamorfosi moderna, che avendo posto «la matematica al centro dell'esperienza», come attesta Gaston Bachelard, e introducendo una visione elastica dello spazio e del tempo, sarebbe diventato pietra angolare del più grande cataclisma intellettuale della storia del pensiero scientifico. Nel suo continuo detonare e detronizzare, la *rivoluzione einsteiniana* attivò una serie di «choc epistemologici» nel cuore stesso della comunità scientifica, che – scrive Bachelard nel 1934 – avrebbero obbligato lo scienziato a rimettere tutto in discussione: «Il fisico è stato costretto tre o quattro volte da vent'anni a questa parte a ricostruire la propria ragione, e, intellettualmente parlando, a rifarsi una vita»², fino al punto di mettere all'indice le stesse categorie di pensiero che avevano resistito e brillato per

¹ Cit. in B. HOFFMANN e H. DUKAS, *Albert Einstein, creatore e ribelle*, Milano 2002, p. 30.

² G. BACHELARD, *Il nuovo spirito scientifico*, Roma-Bari 1978, p. 156.

più di due millenni. L'unica possibilità di accesso alle nuove conquiste relativistico-quantistiche – ammette Abraham Pais – è quella data da Einstein: «la stessa logica classica deve essere modificata»³.

Sulle macerie del pensiero classico aleggia, dunque, la figura di quello che è stato definito «il maggior filosofo del Ventesimo secolo»⁴, diventata oramai leggenda, che incarna e personifica la rottura col passato, l'autorità che ha cambiato per sempre la nostra *immagine del mondo*, dove la fisica padroneggia, pone confini e detta legge all'interno della stessa sfera filosofica. I cento anni che separano il pensiero scientifico-filosofico classico da quello scaturito dalla *seconda rivoluzione scientifica* hanno scosso i pilastri della stessa gnoseologia: i concetti di *spazio*, *tempo*, *simultaneità*, *cosmo*, *esistenza*... avrebbero affrontato una fatale rielaborazione, «un rivolgimento senza precedenti»⁵, tallonando la cosiddetta *crisi dei fondamenti* della matematica. Gli stessi *principi primi* aristotelici riceveranno un tentativo di attacco inaudito e temerario; «mediante la meccanica quantistica viene stabilita definitivamente la non validità del principio di causalità», sentenzierà Heisenberg⁶, discepolo del Maestro⁷. Nasce la *logica quantistica*. La *fisica*, per la prima volta, «ridisegna» la *filosofia*...

³ A. PAIS, *Il danese tranquillo. Niels Bohr, un fisico e il suo tempo. 1885-1962*, Torino 1993, p. 75.

⁴ E. BELLONE, *Il maggior filosofo del Ventesimo secolo*, «Le Scienze», n. 435, Novembre 2004, p. 5.

⁵ *Ibidem*.

⁶ W. HEISENBERG, *Il contenuto intuitivo della cinematica e della meccanica nella teoria quantistica*, in S. BOFFI (a cura di), *De Broglie – Schrödinger – Heisenberg, Onde e particelle in armonia. Alle sorgenti della meccanica quantistica*, Milano 1991, p. 181. Vedremo più avanti come scienziati ed epistemologi tenteranno una forzata ed illecita estensione semantica di tale verdetto, estrapolando e sconfinando oltre ogni limite (cfr. V. POSSENTI, *L'alleanza fra Mosè e Socrate, e il fallibilismo*, in V. POSSENTI (a cura di), *Ragione e verità*, Roma 2005, p. 8), e omologandosi alla filosofia di Einstein: «Hume vide chiaramente che alcuni concetti, come ad esempio quello di causalità, non si possono dedurre con metodi logici dai dati dell'esperienza. Kant, essendo fermamente convinto che certi concetti fossero indispensabili, e che fossero proprio quelli che si erano dimostrati tali nella pratica, li interpretò come le necessarie premesse di ogni tipo di speculazione, e li distinse dai concetti di origine empirica. Io sono convinto, invece, che questa distinzione sia erronea... Tutti i concetti, anche quelli più vicini all'esperienza, sono dal punto di vista logico convenzioni liberamente scelte, come appunto nel caso del concetto di causalità da cui ebbe origine quest'ordine di problemi» (A. EINSTEIN, *Autobiografia scientifica*, Torino 1979, pp. 14-15; o, anche, p. 66 delle *Opere scelte* di Albert Einstein, a cura di E. BELLONE, Torino 1988).

⁷ Sono oramai celeberrime le dichiarazioni di Einstein contro l'indeterminismo quantistico che fa riferimento alla cosiddetta «Scuola di Copenhagen», tali però da far forviare e collocare, in una semplicistica opposizione, il suo pensiero con quello di Heisenberg e di Bohr. Se però non ci si accontenta di questo primo livello di analisi, la stessa Meccanica Quantistica – come approfondiremo più avanti nel nostro lavoro – può essere vista come una conseguenza estrema, una *ipotesi* del tracciato epistemico della teoria di Einstein: non abbiamo fatto altro – avrebbe rilevato lo stesso Born, uno degli artefici della *meccanica delle matrici* – che «avere fedelmente proseguito sulla via

Si comprende bene pertanto come tale deflagrazione epistemologica abbia potuto attrarre l'interesse di intere classi di pensatori, filosofi e scienziati: dagli storici del pensiero scientifico a quelli del pensiero filosofico, dai sociologi della scienza agli epistemologi. Ingegneri, astronomi, astrofisici, cosmologi, fisici delle particelle, fisici teorici e sperimentali... Non si contano poi le branche filosofiche «contagate», fino ad arrivare alla logica, all'intelligenza artificiale e all'antropologia⁸.

D'altra parte per il filosofo diventa degno di attenzione il resoconto relativistico che attraversa Bruno, Galileo, Cartesio, Huygens, Newton, Leibniz, Berkeley, Kant, Mach, Poincaré, fino a trovare il punto omega in Einstein⁹. E poi c'è la questione ancor più scottante sull'essenza del tempo¹⁰. La nuova *Weltanschauung* post-relativistica, come acutamente ha rilevato Jacques Maritain, minaccia di «rovinare i cardini naturali del pensiero»¹¹; difatti l'elaborazione del pensiero einsteiniano ha travalicato il confine della scienza ed ha «allagato» quello della pura speculazione filosofica, toccando finanche i contorni della stessa metafisica¹².

che egli [Einstein] ci aveva indicato nei suoi giorni migliori» (F. SELLERI, *La fisica del Novecento. Per un bilancio critico*, Bari 1999, p. 94). È stato «Einstein – confermerà Gamow – ad abbandonare le vecchie idee di “senso comune” sul computo del tempo, la misura della distanza e la meccanica, ... [arrivando] alla riformulazione della “insensata” Teoria della Relatività. [...] Heisenberg ne dedusse che la stessa situazione esistesse nel campo della Teoria dei Quanti» (G. GAMOW, *Trent'anni che sconvolsero la fisica*, Bologna 1966, p. 108). Quando nella primavera del 1926 Einstein chiese ad Heisenberg «i motivi che l'hanno spinto ad abbracciare questa bizzarra posizione» nei riguardi della collocazione verificazionista della teoria dei quanti, questi rispose: «Ma... così ha fatto anche lei con la teoria della relatività... Lei stesso ha affermato che non ha senso parlare di tempo assoluto proprio perché il tempo assoluto non è osservabile; lei stesso ha detto che solo il tempo indicato dall'orologio, misurato in un sistema sia in moto sia in quiete, ha valore per la determinazione del tempo» (W. HEISENBERG, *Fisica e oltre*, Torino 1984, p. 73). Vano fu il tentativo dello stesso Einstein, durato una vita intera, di rimediare al proprio errore epistemologico riversato nella meccanica quantistica, come il suo amico Paul Ehrenfest gli fece capire: «Einstein, mi vergogno di te: stai attaccando la nuova teoria dei quanti esattamente nello stesso modo in cui i tuoi avversari attaccano la teoria della relatività» (*ivi*, p. 91).

⁸ Cfr., ad esempio, R. PENROSE, *Ombre della mente*, Milano 1996; e anche, dello stesso autore, *La mente nuova dell'imperatore. La mente, i computer e le leggi della fisica*, Firenze 1998. In particolare per l'aspetto antropologico e «teologico» rimane esplicitativo F.J. TIPLER, *La fisica dell'immortalità*, Milano 1997.

⁹ Un approfondimento si trova in R.V. MACRÌ, *I FLOP nella trattazione relativistica del tempo*, in F. SELLERI (a cura di), *La natura del tempo*, Bari 2002.

¹⁰ Per una valutazione critica dimensionata sull'argomento si rimanda a R.V. MACRÌ, *Che cos'è il tempo? Bergson, Maritain, Dingle a confronto con Einstein*, di prossima pubblicazione su «Sapienza».

¹¹ J. MARITAIN, *La metafisica dei fisici ossia la simultaneità secondo Einstein*, «Riv. Filos. Neoscolastica», 15:313, 1923, p. 325.

¹² Cfr., di chi scrive, *La detronizzazione della metafisica secondo Maritain e il nichilismo contemporaneo*, «Sapienza», LV, 4, 2002.

Bisogna prendere sul serio, dunque, la dichiarazione di Hans Reichenbach, quando sottolinea l'«errore» che ne deriverebbe nel «credere che la teoria di Einstein non sia una teoria filosofica»¹³: «la teoria della relatività di Einstein ha dato una forte scossa ai fondamenti filosofici della conoscenza»¹⁴. L'«occhio del filosofo» non è soltanto giustificato, di conseguenza, a prendere posizione di fronte al nuovo e inaudito quadro epistemologico che si è venuto a creare, ma viene pressato dalla sua stessa coscienza verso l'estremo tentativo di salvare e tutelare quel plurimillenario *logos* filosofico che rischia di crollare dinnanzi alla sismicità di massima magnitudo delle nuove teorie.

1. La genesi della Relatività

«Se un uomo che si trovasse su di una nave in mezzo al corso di un fiume non sapesse che l'acqua scorre e non vedesse le due rive, come saprebbe che la nave si muove?»¹⁵. Così Niccolò da Cusa, eminente pensatore rinascimentale e precursore ideale di Copernico e Galilei, faceva sua la sottile domanda di Seneca: «Se Dio fa muovere intorno a noi tutto l'Universo, o muove noi». Il problema della relatività del moto era conosciuto fin dai presocratici¹⁶, ma è soltanto all'alba dell'età moderna che la tematica si infiammerà, acquisendo i contorni di *experimentum crucis*. Prendendo le mosse dall'esempio della «nave che corre» del Bruno, «dalla [cui] considerazione... s'apre la porta a molti ed importantissimi segreti di natura e profonda filosofia»¹⁷ e arricchendolo di una gamma di particolari, Galileo presenterà l'applicazione del principio della composizione dei moti grazie alla sua celeberrima e ormai classica esperienza del «gran navilio»,

¹³ H. REICHENBACH, *Il significato filosofico della teoria della relatività*, 1949, in P.A. SCHILPP (a cura di), *Albert Einstein, scienziato e filosofo*, Torino 1958, p. 238.

¹⁴ H. REICHENBACH, *Relatività e conoscenza a priori*, Bari 1984, p. 59.

¹⁵ NICOLA CUSANO, *La dotta ignoranza*, Roma 1998, p. 149.

¹⁶ Giordano Bruno, ne *La cena de le ceneri*, indica come l'argomentazione sia stata «detta, insegnata e confermata», oltre che dallo stesso Cusano, anche dal «Copernico, Niceta Siracusano Pitagorico, Filolao, Eraclide di Ponto, Ecfanto Pitagorico, Platone nel *Timeo*» (GIORDANO BRUNO, *La cena de le ceneri*, Milano 1995, p. 54). A questa lista bisogna aggiungere, tra i tanti, Buridano e Oresme (J.B. BARBOUR, *Absolute or Relative Motion?*, vol. I, *The Discovery of Dynamics*, Cambridge 1989, pp. 203 sgg.), e, naturalmente, Cartesio: «The very notion of laws of motion was first clearly formulated by Descartes in Chap. 7 of *The World* [...] expressed for the first time in a form recognizably similar to the one it still has» (Ivi, p. 427).

¹⁷ GIORDANO BRUNO, *op. cit.*, p. 73.

arrivando così a quello che oggi viene comunemente denominato *principio di relatività galileiano*. La nave «diviene ora sede di esperimenti per dimostrare che un osservatore che non abbia relazione con l'esterno, non ha nessuna possibilità di accorgersi se, rispetto ad altro osservatore, si muova o no di moto uniforme rettilineo»¹⁸:

Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: [...] le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la goccia è per aria, la nave scorra molti palmi...¹⁹.

Scriva Giovanni Polvani: «Il *Dialogo sopra i due massimi sistemi* fu pubblicato l'anno 1632. A quell'anno si può ascrivere la Relatività galileiana»²⁰. Come risulta evidente dal passo galileiano appena citato, la caratteristica saliente del *principio di relatività* è che la classe delle esperienze meccaniche sottoposte ad un transitorio impulso o accelerazione, nella nuova situazione inerziale «post-accelerazione» non marcheranno la benché minima differenza rispetto alla condizione inerziale precedente all'impulso: «Le goccioline – garantisce Galileo – cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la goccia è per aria, la nave scorra molti palmi».

Ne consegue, come corollario a quanto appena affermato, che

¹⁸ G. POLVANI, *Il moto della Terra, filo storico della Relatività*, in M. PANTALEO (a cura di), *Cinquant'anni di relatività (1905-1955)*, Firenze 1955, p. 14.

¹⁹ GALILEO GALILEI, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Torino 1970, p. 227. O, anche, pp. 212-213 dell'Edizione Nazionale.

²⁰ G. POLVANI, *op. cit.*, p. 15.

«uno stato di moto uniforme è indistinguibile da uno stato di quiete»²¹ e che, quindi, «*chiunque possenga un movimento uniforme* (iner-

²¹ N.D. MERMIN, *Space and Time in Special Relativity*, New York 1968, p. 5. Si può comprendere, a questo punto, la profonda e straordinaria meditazione di Cartesio sui fondamenti della fisica a partire dalla fenomenologia del moto. Nell'intitolare il ventiseiesimo paragrafo dei suoi *Principia*: «Che non è richiesta maggiore azione pel movimento che pel riposo» (CARTESIO, *I principii della filosofia*, in *Opere filosofiche*, vol. terzo, Roma-Bari 1995, p. 83), rimarca la grandiosa sintesi cosmica introdotta nel suo *Le Monde ou Traité de la Lumière* iniziata nel 1630 (precede quindi Galileo) e terminata già nel '33, integrata da *L'Homme* (alcuni spunti di tale sintesi si possono trovare in R.V. MACRÌ, *La fisica unifenomenica cartesiana e il punto debole dell'IA forte*, «Episteme», 4, 2001; in particolare, per quanto riguarda la prospettiva futuribile della via cartesiana, è da considerarsi di fondamentale importanza il lavoro dello scienziato bergamasco Marco Todeschini, soprattutto la sua monumentale opera del 1949 – *La teoria delle apparenze*, Bergamo – e il successivo lavoro divulgativo del '78 – *Psicobiofisica*, Torino – dove è nuclearizzata la fisica, e la metafisica, cartesiana in termini contemporanei; per un resoconto dei lavori todeschiniani si veda U. BARTOCCHI, R.V. MACRÌ, *Le interpretazioni intuitive della Fisica tra metafora dello spazio pieno e metafora dello spazio vuoto: un ricordo di Marco Todeschini*, Atti Conv. Internaz. “Cartesio e la scienza”, Perugia 4-7 sett. 1996). Nel capitolo settimo del suo *Mondo*, Cartesio traccia le leggi che stanno alla base della dinamica, arrivando per primo al nucleo fondamentale della fisica: la *conservazione della quantità di moto*. La sua «prima regola», la legge d'inerzia («che ogni parte della materia in particolare persiste nel medesimo stato finché l'urto delle altre non costringe a mutarlo») [CARTESIO, *Il Mondo o Trattato della luce*, in *Opere filosofiche*, vol. primo, Roma-Bari 1995, p. 148] insieme al fatto «che quando un corpo si muove... le sue parti, singolarmente prese, tendono sempre a continuare il loro in linea retta» [Ivi, p. 151], può essere vista come corollario della sua «seconda regola», la conservazione della quantità di moto («quando un corpo ne spinge un altro, non possa comunicargli alcun movimento senza perderne contemporaneamente altrettanto del proprio; né sottrarglielo senza aumentare il proprio della stessa misura. [...] Essa c'insegna che, quando un corpo ne urta un altro, il movimento del primo non viene rallentato in proporzione della resistenza del secondo, ma nella misura in cui il secondo cede: il secondo, nel cedergli, accoglie in sé la forza di muoversi che l'altro perde» [ivi, pp. 149-150]). In questo modo, spiega Cartesio, «questa regola, unita alla precedente, si accorda benissimo con tutte le esperienze in cui vediamo cominciare o cessare il movimento di un corpo perché un altro corpo lo spinge o lo ferma. Infatti, per la regola precedente, siamo liberi dall'imbarazzo in cui si trovano i dotti quando vogliono dar ragione del fatto che un sasso continua a muoversi per qualche tempo dopo essere uscito dalla mano che lo ha scagliato: ci si dovrebbe chiedere piuttosto perché non continua a muoversi sempre» (*ibidem*). Si noti che qui sta la vera base di tutta la fisica e che Cartesio supera cronologicamente non solo Newton (il quale, per sua stessa ammissione, si “cibò” degli insegnamenti cartesiani nell'arco dell'intera sua giovinezza; cfr. «Newton and Descartes» in A. KOYRÉ, *Newtonian studies*, London 1965, pp. 53 ss; cfr. anche J. HERIVEL, *The background to Newton's "Principia"*, Oxford 1965, p. 141, dove è contenuta un'interessante dimostrazione di come la prima formulazione del principio d'inerzia da parte di Newton ricalchi il “motivo” e la “metrica” cartesiani) ma anche Galileo (cfr. l'introduzione del III capitolo di A. KOYRÉ, *Etudes galiléennes*, Paris 1966). Nella sua mente la relatività del moto era un concetto intrinsecamente partorito dal concetto di conservazione della quantità di moto («Con il principio della conservazione della quantità di moto Cartesio ha ora guadagnato la base teorica di tutta la sua fisica» - E. CASSIRER, *Cartesio e Leibniz*, Roma-Bari 1986, p. 22). In questo senso può formulare una critica ai pensatori precedenti, i quali «al meno rilevante dei movimenti attribuiscono un essere molto più saldo e più vero che non alla quiete: questa, a quel che dicono, è solo privazione di movimento. Io invece concepisco la quiete come una qualità da attribuirsi alla materia... proprio come il movimento» (CARTESIO, *Il Mondo o Trattato della luce*, op. cit., p. 149). Il concetto stesso di “quiete” o di “punto immobile” si libera dall'illusoria possibilità di reperirlo nell'universo, se non nelle stesse “coordinate del

ziale) *rispetto a qualcun altro a riposo è autorizzato a considerare se stesso in uno stato di quiete e l'altro in uno stato di moto uniforme*»²². Da qui il nome e il senso di “relatività del moto” e del *principio di “relatività”*²³: «La ‘relatività’ entra nel fatto che affermare l'equivalenza di tutti i sistemi inerziali dal punto di vista della validità delle leggi fisiche ha la conseguenza che di due sistemi inerziali non ha senso fisico chiedersi quale dei due sia ‘veramente’ in moto e quale in quiete: del moto si può cioè parlare solo in termini relativi»²⁴. Non possiamo più affermare “questo è fermo” senza specificare rispetto a che cosa: «Quando asseriamo che qualcosa è a riposo dobbiamo anche specificare relativamente a quale degli innumerevoli, egualmente idonei, laboratori in moto uniforme si trovi a riposo»²⁵.

Ricapitoliamo, con le parole di Robert Resnick: «*Nessun esperimento meccanico eseguito interamente in un solo riferimento inerziale può dire all'osservatore qual è il moto di quel riferimento rispetto a un qualsiasi altro riferimento inerziale*. Il giocatore di biliardo in un vagone chiuso di un treno che si muove uniformemente lungo un tratto rettilineo non può dedurre dal comportamento delle palle quale sia il moto del treno rispetto alla terra. Il giocatore di tennis in un campo chiuso posto su un transatlantico in movimento con velocità uniforme (in un mare calmo) non può dedurre dal suo gioco quale sia il

pensiero”, come asserisce magistralmente nei suoi *Principia* (II, 13): «Si tendem cogitemus nulla ejusmodi puncta vere immota in universo reperiri... inde concludimus nullum esse permanentem ullius rei locum nisi quatenus a cogitatione nostra determinatur».

²² «Anybody moving uniformly with respect to somebody at rest is entitled to consider himself to be at rest and the other person to be moving uniformly» (N.D. MERMIN, *op. cit.*, p. 5).

²³ Per completezza ecco qui di seguito le altre 3 formulazioni equivalenti per il *principio di relatività* (da applicare per il momento al puro universo della meccanica): 1° «È impossibile stabilire, tramite qualunque esperimento, se ci si trova in quiete o in moto uniforme»; 2° «Se due esperimenti sono eseguiti sotto condizioni identiche, tranne che uno dei due è fatto in un laboratorio a riposo e l'altro in un laboratorio in moto uniforme, entrambi gli esperimenti condurranno esattamente alla stessa conclusione»; 3° «Le leggi della natura sono le stesse, sia in un laboratorio a riposo, sia in un laboratorio in moto uniforme» (ivi, p. 4).

²⁴ M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo: la teoria della relatività*, in M. MAMONE CAPRIA (a cura di), *La costruzione dell'immagine scientifica del mondo*, Napoli 1999, p. 269. Il prof. Marco Mamone Capria, docente di Meccanica Superiore presso il Dipartimento di Matematica dell'Università di Perugia e degno successore nella cattedra del compianto Giuseppe Arcidiacono – premiato nel '58 dall'Accademia Naz. dei Lincei per le sue ricerche sulla relatività avanzata ereditata dal suo maestro Fantappiè – rimane una figura di prim'ordine nei riguardi della fisica relativistica e le sue componenti storico-filosofiche. Chi scrive desidera ringraziarlo per i numerosi confronti, scambi e approfondimenti sul pensiero einsteiniano nell'arco dell'ultimo decennio.

²⁵ N.D. MERMIN, *op. cit.*, p. 5.

moto della nave rispetto all'acqua. Indipendentemente da quale possa essere il moto relativo (forse inesistente), finché esso rimane costante, i risultati saranno identici»²⁶.

2. Moto Gnoseologicamente Determinato (MGD) e Indeterminato (MGI)

La nuova meccanica tracciata da Galileo rimane in bilico circa la causa della relatività del moto: essa può affiancarsi ad una *relatività epistemologica* come quella di Newton, dove esiste uno spazio assoluto ed è per umana impotenza – a livello gnoseologico – che si è impediti verso una conoscenza assoluta del moto; oppure, indiscriminatamente, può appaiarsi ad una *relatività ontologica* come quella di Leibniz, dove spazio e tempo sono relazionali/relativi, e non ha alcun senso parlare di moto assoluto. Ambedue però approdano ad una struttura fisico-filosofica rivoluzionaria – come nucleo minimo fondamentale – che potremmo designare come *Moto Gnoseologicamente Indeterminato* (MGI), in antitesi rispetto a quello che sarebbe appropriato indicare come *Moto Gnoseologicamente Determinato* (MGD) della fisica aristotelica. Quest'ultima infatti si sarebbe dovuta arrestare dinnanzi alla «convinzione che non fosse possibile attribuire ai termini “quiete” e “moto” il significato assoluto di conservare o perdere un particolare luogo dello spazio, e che essi potessero pertanto venir usati soltanto per descrivere il rapporto di un corpo con un ambiente scelto, [...] e inoltre che nessuno dei diversi ambienti possibili ha una posizione eccezionale, che consenta di distinguere un moto vero dall'infinità dei moti apparenti»²⁷. Commenta con enfasi Dijksterhuis: «Per la prima volta da quando era cominciato l'assalto contro il sistema aristotelico, veniva presentato un sistema per l'interpretazione della natura che eguagliava per universalità il sistema di Aristotele»²⁸.

²⁶ R. RESNICK, *Introduzione alla relatività ristretta*, Milano 1979, pp. 12-3.

²⁷ E.J. DIJKSTERHUIS, *Il meccanicismo e l'immagine del mondo. Dai presocratici a Newton*, Milano 1980, p. 150.

²⁸ *Ivi*, p. 203. «Il “Primo Mobile” trasferito nel nuovo mondo... – commenta Koyré – verrebbe a svolgervi un ruolo assai differente da quello che svolge nel mondo di Aristotele. Esso può bene – se si vuole – essere la fonte e l'origine di tutti i movimenti di questo mondo. Ma appunto a ciò si limita la sua funzione. Il movimento, una volta prodotto, non ne ha più bisogno. Poiché – e sta in ciò la differenza essenziale – il primo mobile non ha il compito di mantenere il movimento. Il movimento si mantiene e si

Nella fisica di Aristotele il moto ha una genesi determinata e uno *status* assoluto²⁹. Non c'era incertezza riguardo ad un corpo in movimento: era esso, appunto, in movimento, e non l'osservatore che si presupponeva fermo. Se con la nuova fisica si arriva ad uno spazio *isotropo e omogeneo*³⁰, dove posti «al medesimo livello ontologico, privati delle loro distinzioni qualitative, movimento e quiete diventano indistinguibili»³¹, per la cosmologia aristotelica assumeva invece importanza essenziale la *determinazione onto-gnoseologica del movi-*

conserva da solo, senza “motore”, il che, come ben sappiamo, è completamente contrario all'ontologia aristotelica» (A. KOYRÉ, *Studi galileiani*, Torino 1976, p. 327). Il concetto di moto assume un'importanza cruciale nel galileiano “dirottamento” della fisica aristotelica, come lo stesso Galileo ebbe a scrivere nel suo *Discorso*: «Diamo avvio a una *nuovissima scienza* intorno a un soggetto antichissimo. Nulla v'è, forse, in natura, di più antico del moto, e su di esso ci sono non pochi volumi, né di piccola mole, scritti dai filosofi» (G. GALILEI, *Discorso intorno a due nuove scienze*, vol. II, Torino 1980, p. 722).

²⁹ Qui per “moto” va inteso il concetto della fisica moderna, anche se, in effetti, il concetto di moto in Aristotele riveste una valenza più generale rispetto alla nostra concezione. Egli considera moto non solo il mutamento di luogo (moto locale) ma anche l'alterazione qualitativa, l'aumento o diminuzione quantitativi e, in taluni casi, la generazione e la corruzione. Riguardo al *moto locale* del *mondo sublunare* ad ogni corpo compete un luogo naturale, dove, se non intervengono cause esterne, i corpi si mantengono in quiete. Il moto è qualcosa che si “trasferisce” solo momentaneamente ai corpi. Ogni movimento, *naturale* (se la direzione è verso il *luogo naturale*) o *violento* (se invece si allontana dal luogo naturale), necessita di una causa: per il moto naturale è il ritorno del corpo al suo luogo naturale, mentre per il moto violento è un *motore* esterno in contatto con il *mobile* (non sono ammesse azioni a distanza). Soppressa la causa, naturale o violenta, il moto si estingue conseguentemente (*cessante causa cessat effectus*). Inoltre, la velocità dei corpi in moto violento è direttamente proporzionale alla forza applicata (motore). Cfr. ARISTOTELE, *Fisica*, IV 8, 250 a1-a9.

³⁰ L'*isotropia* riguarda l'invarianza durante il mutamento della *direzione* nello spazio di quantità vettoriali, come la velocità, mentre l'*omogeneità* sottintende quella che potremmo classificare come *transcronotopia* (cfr. di chi scrive *Il pianeta di Misone. Meta valutazione e Metacomunicazione*, preprint 2003, 1.1). Come dice la parola stessa – al di là del *cronos* e del *topos* – si è in una *configurazione transcronotopica* quando la validità di una azione rimane inalterata per traslazioni spaziali e temporali. Ciò è alla base della scienza moderna: questa non si potrebbe realizzare senza la galileiana *ripetibilità* dell'esperimento scientifico. A sua volta, la ripetibilità, implica di fatto la *transcronotopicità*, ossia la perfetta simmetria traslazionale nello spazio e nel tempo. In fisica, quest'ultima, viene sovente chiamata *omogeneità* dello spazio e del tempo, e altro non è se non – con le parole del nobel per la fisica Richard Feynman – «la simmetria chiamata» come «traslazione nello spazio» e «traslazione nel tempo» (R. FEYNMAN, *La legge fisica*, Torino 1971, pp. 95-6.). La prima simmetria, scrive Feynman, «la simmetria chiamata *traslazione spaziale*», «ha il significato seguente: se [...] fate un qualunque esperimento [...] e poi andate a [...] fare lo stesso esperimento, con oggetti simili, ma posti qui invece che là, cioè semplicemente traslati da un punto all'altro dello spazio, allora nell'esperimento traslato accadranno le stesse cose che accadevano nell'esperimento originario» (*Ivi*, p. 95.). Idem per la *traslazione temporale*: «uno spostamento nel tempo non ha nessuna importanza. [...] Tutto andrebbe esattamente come prima» (*Ivi*, p. 96.). La transcronotopia, dunque, è il fondamento della scienza, in quanto è il presupposto dell'*osservazione scientifica* e dell'*esperimento*.

³¹ A. KOYRÉ, *Studi newtoniani*, Torino 1972, p. 10. Cfr. anche, dello stesso autore, *Studi galileiani*, op. cit., p. 348.

mento in uno spazio *anisotropo* e *non* omogeneo³². In particolare, quando un corpo veniva messo “in moto”, esso risultava *in moto* senza incertezza e senza relativismo. Ciò veniva dimostrato, agli occhi di Aristotele, da una moltitudine di fatti, fra loro collegati, che rendevano manifesta la fenomenologia sottostante di tipo MGD: *a*) il corpo, una volta lanciato, risultava *visivamente* in movimento quando prima non lo era; *b*) per produrre il moto era necessario uno sforzo iniziale; *c*) tale sforzo si traduceva in una forma di *impulso*³³ che manteneva il corpo in moto, ma che col tempo avrebbe finito per esaurirsi restituendo il corpo alla quiete; *d*) da una “accelerazione”

³² Basti qui ricordare uno dei versi fondamentali – e illuminanti sotto questo aspetto – della cosmologia aristotelica: «Si potrebbe chiedere, poiché il centro di entrambi [ossia della terra e dell'universo] è costituito dal medesimo punto, per quale potenza il moto naturale dei corpi pesanti, o di parti della terra, è diretto verso di esso; come centro dell'universo o della terra. La risposta è che è diretto verso di esso come centro dell'universo; infatti i corpi leggeri come il fuoco il cui moto è contrario a quello dei gravi, muovono verso l'estremità della regione che contiene il centro. Avviene così che *per accidens* la terra e l'universo hanno il medesimo centro; i corpi pesanti, infatti, muovono verso il centro della terra, ma solo *per accidens*, in quanto la terra ha il proprio centro nel centro dell'universo» (ARISTOTELE, *De caelo*, II, 14, 296 b). E nella *Fisica* scrive: «ogni corpo sensibile è nello spazio, mentre le specie e le differenze dello spazio sono alto e basso, avanti e dietro, destra e sinistra. E queste cose sono tali non solo per noi e per convenzione, ma anche nel tutto stesso» (*Fisica*, III, 5, 205 b 31-33), o anche, «i movimenti locali dei corpi naturali semplici, come fuoco, terra ed altri elementi simili, mostrano non solo che lo spazio è qualcosa, ma anche che esso ha una certa capacità. Infatti ogni cosa è trasportata verso il proprio luogo, se niente l'ostacola, l'una in alto, l'altra in basso. E queste determinazioni sono parti e specie dello spazio; alto e basso e le altre sei direzioni... Non capita perciò a qualunque cosa di essere in alto, ma questo è il luogo dove viene trasportato il fuoco e ciò che è leggero; analogamente, il basso non è il luogo per qualunque cosa a caso, ma è il luogo delle cose che sono pesanti e composte di terra. I luoghi non differiscono dunque solo per la posizione, ma anche per le forze che essi hanno» (*Fisica*, IV, 1, 208 b8-22).

³³ Il quale, un millennio e mezzo dopo, verrà trasformato in *impetus* ad opera del Buridano. Per quest'ultimo concetto si rimanda a M. JAMMER, *Storia del concetto di massa*, Milano 1980, pp. 55 sgg. In realtà nella fisica aristotelica era il mezzo esterno - l'aria - la fonte di continuità del movimento. Per Aristotele l'aria fungeva da forza motrice e da forza resistente. Scrive il Filosofo: «i proiettili si muovono, sebbene non più toccati da parte di chi li ha lanciati, o per forza di reazione, come affermano alcuni, oppure in quanto l'aria, spinta, a sua volta imprime una spinta con un movimento più veloce di quello in parte del quale esso si muove verso il suo proprio luogo naturale» (ARISTOTELE, *Fisica*, IV, 8, 215 a 14-17). L'aria quindi assicurava il contatto fisico (ogni cosa in moto è mossa da qualcosa in moto) e assicurava che non si verificasse il moto istantaneo, cioè una velocità infinita. Secondo Aristotele era evidente che la resistenza al moto dipendeva dalla densità del mezzo. Più il mezzo si rarefaceva, più la velocità aumentava: la scomparsa del primo (cioè il vuoto) avrebbe dato alla seconda un carattere infinito, il moto sarebbe diventato istantaneo. Ciò era inconcepibile: «Non è possibile che alcuna cosa sia mossa, se esiste il vuoto» (*Fisica*, IV, 8, 214 b 31). Fino a formulare il *principio d'inerzia* “per absurdum” qualora si fosse ipotizzata l'esistenza del vuoto: «Inoltre, non si potrebbe dire perché un corpo, una volta posto in moto, dovrebbe fermarsi in un posto quale che sia; infatti, perché mai dovrebbe fermarsi qui anziché là? In tal modo un corpo dovrebbe o essere in quiete o essere mosso ad infinitum, a meno che qualcosa di più forte non lo arresti» (*Fisica*, IV, 8, 215 a 19-23).

transitoria seguiva sempre, inesorabilmente, una “decelerazione” consequenziale fino allo stato di quiete; *e*) lo status dell'impulso iniziato del movimento risultava irrefutabile riguardo alle caratteristiche relative a quelle che oggi chiameremmo stato di accelerazione e massa inerziale³⁴. Tutto ciò assegnava allo stato del moto il carattere assoluto e determinato (MGD).

Un esempio potrà chiarire ulteriormente il punto di vista aristotelico. Un proiettile sparato da una pistola in un istante *t* viene visto in moto “assoluto” (MGD) rispetto alla pistola che rimane “ferma”³⁵, o, detto più sottilmente, “lo stato di moto appartiene più propriamente al proiettile che non alla pistola”. Deduzione che può apparire più che scontata se non si dispone della nuova intelaiatura concettuale relativista³⁶. Per smontare tale “ovvietà” si consideri – al fine di una

³⁴ Nella prospettiva aristotelica ciò sarebbe stato visto come la tendenza del corpo a mantenere quel luogo. Tale fenomenologia valeva solo per il mondo sublunare e non per i corpi celesti: due meccaniche distinte, dunque, che arriveranno ad una unificazione solo ad opera di Cartesio e Galileo prima (scrivono Federico Enriques e Giorgio De Santillana nel loro *Compendio di storia del pensiero scientifico*, Bologna 1936, p. 341: «Galileo ha distrutto definitivamente il pregiudizio aristotelico di una distinzione fra la fisica del mondo sublunare... e la fisica dei cieli incorruttibili») e Newton dopo, che apparirà agli occhi dei posteri come l'unificatore per antonomasia. Una sintesi analoga si avrà in seguito con Maxwell, che riuscirà ad unificare l'elettrodinamica con il magnetismo, creando il cosiddetto *elettromagnetismo*. Infine con Einstein si assisterà ad un'ulteriore tentativo di unificazione che vedrà la fusione di *spazio e tempo*, *materia ed energia*.

³⁵ Si immagini, per astrazione e universalizzazione, la pistola nello spazio vuoto; anche se vista posizionata in un preciso luogo geografico della Terra, nulla modificherebbe l'argomentazione. Viene qui sottolineato ancora una volta come per Aristotele e tutta la cosmologia antica, “in moto” e “fermo” erano concetti assoluti e non relativi, come rimarca Max Jammer nel suo celeberrimo *Storia del concetto di spazio*, Milano 1981, p. 58: «Aristotele, o chiunque scrisse il *De motu animalium*, asserisce che ovunque sia un corpo in movimento, là debba trovarsi qualcosa che sia immobile».

³⁶ Scrive Einstein, in uno dei suoi libri divulgativi più affascinanti, che «uno dei problemi fondamentali, durante millenni completamente oscurato dalla sua complessità, è quello del moto» (A. EINSTEIN e L. INFELD, *L'evoluzione della fisica*, Torino 1975, p.18). È interessante notare come, dopo millenni, lo studente di fisica ai primi anni (e non solo!) si trovi ancora più a proprio agio con la fisica aristotelica che con la nuova, e come sia un passaggio non facile superare tale *Weltanschauung*, come documenta con enfasi Howard Gardner: «A fornire gli elementi di prova a questa tesi allarmante è la messe ormai ricchissima di indagini che hanno visto la luce negli ultimi decenni. Queste indagini documentano che anche gli studenti meglio preparati e dotati di tutti i carismi del successo scolastico – regolare frequenza di scuole valide, valutazioni molto elevate, buoni punteggi nei test e riconoscimenti da parte degli insegnanti – solitamente non mostrano affatto una comprensione adeguata dei contenuti e dei concetti con cui lavorano... Ricercatori della John Hopkins University, del Massachusetts Institute of Technology e di altre prestigiose università hanno documentato che spesso studenti che nei corsi di fisica seguiti nei *colleges* avevano ottenuto voti molto elevati, se posti di fronte a questioni e problemi elementari formulati in modo anche solo leggermente diverso da quello con cui li avevano incontrati al momento della spiegazione formale e della verifica, sono incapaci di affrontarli. Un esempio tipico è il seguente: si chiede agli studenti di indicare le forze che agiscono su una moneta lanciata in aria che abbia raggiunto il

semplificazione pedagogica – un’astronave in moto nella stessa direzione (più propriamente, nella stessa direzione e nell’identico verso) del proiettile e con la stessa velocità di quest’ultimo rispetto alla pistola “ferma”. Si supponga che lo sparo di un secondo proiettile tirato da una pistola identica alla prima – ma stavolta all’interno dell’astronave – avvenga nello stesso istante del primo ma in direzione opposta (tecnicamente: stessa direzione ma nel verso contrario), e proprio quando le due pistole appaiono affiancate l’una all’altra. Cosa vede il primo osservatore “fermo” riguardo alla seconda pistola e al proiettile associato? Aristotelicamente vede la seconda pistola “volare” a fianco del primo proiettile e il secondo rimanere “fermo” accanto alla prima pistola. L’azione dello sparo della seconda pistola avrebbe avuto dunque lo scopo di “arrestare” il rapido movimento del proiettile. Così sarebbe stato agli occhi di Aristotele. Ma l’osservatore all’interno dell’astronave può asserire senza tema di smentite che l’astronave è rimasta sempre “ferma”, a parte il proiettile sparato, e che in movimento era viceversa la pistola esterna all’astronave, la quale con uno sparo ha “bloccato” il suo proiettile.

Qui il concetto di fondo è che il *principio di inerzia* (o la *cartesiana conservazione della quantità di moto*) rompe lo schema epistemologico aristotelico: un corpo lanciato non si arresta più se una causa esterna non interviene! In termini più filosofici, la genesi del moto violento tramite il *cominciamento* e la *cessazione* non ha più luogo e, quindi, non è più utilizzabile come cartina di tornasole per smascherare un moto violento. Per questo l’osservatore all’interno dell’astronave può sostenere il suo punto di vista. Ed è per lo stesso motivo che l’*accelerazione* perde la sua “polarità”: non si potrà mai più di-

punto più alto della propria traiettoria; la risposta corretta è che, una volta che la moneta si libra nell’aria, è presente solo la spinta gravitazionale verso il basso; in realtà, invece, il 70 per cento degli studenti di *college* che avevano portato a termine un corso di meccanica ha dato la stessa risposta ingenua degli studenti che non avevano mai affrontato la materia: hanno citato, cioè, due forze, una verso il basso derivante dalla gravità e una verso l’alto derivante dalla spinta in su impressa originariamente dalla mano. [...] Ma quello relativo alle forze... non è il solo punto debole degli studenti reduci da un corso di fisica. Quando li si interroga sulle fasi della luna, sulle cause dell’avvicinarsi delle stagioni, sulle traiettorie di oggetti che si scontrano nello spazio o sui movimenti dei loro stessi corpi, gli studenti non mostrano affatto di possedere quelle capacità di comprendere che l’insegnamento scientifico dovrebbe produrre. Dozzine di studi di questo tipo dimostrano che i giovani adulti reduci da studi scientifici continuano a mettere in luce le stesse idee sbagliate e gli stessi fraintendimenti in cui ci si imbatte tra i bambini della scuola elementare» (H. GARDNER, *Educare al comprendere*, Milano 2001, pp. 12-13; cfr. anche pp. 153-176, e pure H. GARDNER, *Sapere per comprendere*, Milano 1999, pp. 124-5. Un collegamento significativo si ha inoltre con J.D. NOVAK, *L’apprendimento significativo*, Trento 2001, pp. 52, 84, 92, 150).

scernere se una accelerazione è positiva o negativa, discriminare un avviamento da un decadimento. Il colpo di pistola non ci assicura che il proiettile abbia avuto una partenza (accelerazione) e non un arresto (decelerazione)³⁷.

A differenza del MGD, nel MGI la accelerazione perde la sua “polarità”.

Tale “relativizzazione” porterà ad una simmetria concettuale che, come vedremo fra poco, sarà alla base dell’unificazione newtoniana³⁸.

3. La sintesi newtoniana e il *frame swap*

«Essendo dato un insieme di corpi, si dice che essi si muovono, gli uni rispetto agli altri, quando le loro mutue distanze variano col tempo. Una tale definizione, perfettamente simmetrica rispetto ai vari corpi, non ci permette in alcun modo di distinguere quale fra i corpi

³⁷ Ritornano alla mente le parole di Cartesio già accennate, quando questi puntualizza la differenza tra la sua fisica e quella antica ancora in auge, dove i sostenitori, «almeno rilevante dei movimenti attribuiscono un essere molto più saldo e più vero che non alla quiete: questa, a quel che dicono, è solo privazione di movimento. Io invece concepisco la quiete... proprio come il movimento» (CARTESIO, *Il Mondo o Trattato della luce*, op. cit., p. 149). Koyré riconosce ed esalta senza mezzi termini la grande intuizione cartesiana: «Descartes condanna come volgare l’opinione che assegna moto e quiete a diversi livelli dell’essere e secondo la quale occorre una forza maggiore per mettere in movimento un corpo in quiete che non per arrestarne uno in movimento. Ha ragione, naturalmente: l’equivalenza ontologica o equiparazione di movimento e quiete è proprio il nucleo della nuova concezione del movimento, come Newton, tacitamente, riconoscerà facendo proprio il termine cartesiano *status*» (A. KOYRÉ, *Studi Newtoniani*, op. cit., p. 84). Si noti che è proprio questa la differenza sostanziale tra MGD e MGI. Proprio il fatto di non poter discriminare un’accelerazione positiva da una negativa, uno “start” da uno “stop”, porta al passaggio dal MGD al MGI. Si ricordi il *gran naviglio* di Galileo: «...stando ferma la nave, osservate diligentemente [...] tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vascello sta fermo non debbano succeder così, fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; ... voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti...». Dopo una accelerazione transitoria (impulso) un sistema inerziale si ritrova nella stessa situazione fenomenologica di partenza, e rimane indecibile la polarità dell’accelerazione subita. Un’astronave sospesa nello spazio, dopo un’improvvisa accelerazione, non potrà decidere se, supponiamo, da “ferma” è scattata in avanti, o se era in moto uniforme in senso contrario e ha subito una decelerazione: la fenomenologia è esattamente identica. È questa la piattaforma concettuale che porta a quello che definiamo *frame swap* (equivalenza totale tra due sistemi di riferimento, anche post-accelerazione), come vedremo più avanti.

³⁸ Il residuo di “assolutezza” che l’accelerazione sembra rimarcare nella meccanica di Newton sarà preso d’assalto e messo in discussione quasi due secoli dopo dalla poderosa critica concettuale di Mach prima e dalla Relatività Generale di Einstein dopo. Approfondimenti si trovano in *Asimmetrie antirelativistiche del campo*, preprint 1999, di chi scrive, e in M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo: la teoria della relatività*, op. cit.

considerati *veramente si muova*, e quale *resti fermo*; anzi le parole sottolineate, se non ci si riferisca a qualcos'altro, restano prive di significato»³⁹. Così Federico Enriques riassume la rivoluzione che abbiamo fin qui analizzato e che a maturità completa verrà associata al nome di Newton, il quale, oltre a rivestirla con un potente formalismo matematico⁴⁰, detronizzerà la scienza cartesiana («*hypophoteses non fingo*»)»⁴¹ spostando l'ago della bilancia a favore del matematismo⁴², vincendo così «una delle partite più importanti per tutto lo sviluppo futuro della fisica»⁴³. Matematismo che col tempo rischierà di soffocare la semantica nascosta, o di offuscarla, eclissando la strut-

³⁹ F. ENRIQUES, *Problemi della scienza*, sec. ediz., Bologna 1909, p. 229. «Nella teoria newtoniana... Si supponga un'astronave *p* fuori nello spazio, lontana da ogni influenza esterna. Se *p* non si trova in accelerazione, come può essere determinato se si trova a riposo o no? Un approccio naturale potrebbe essere quello di misurare la posizione di *p* relativa a qualcosa che sia a riposo. Ma uno dopo l'altro i candidati possibili falliscono: la terra, il sole, le stelle "fisse", e il congetturato *etere*... Neppure l'equipaggio può fare alcun esperimento all'interno dell'astronave capace di una discriminazione» (B. O'NEILL, *Semi-Riemannian Geometry*, New York – London 1983, p. 161).

⁴⁰ Cfr. T.M. TONETTI, *Verso la matematica nelle scienze: armonia e matematica nei modelli del cosmo tra Seicento e Settecento*, in M. MAMONE CAPRIA (a cura di), *La costruzione dell'immagine scientifica del mondo*, op. cit.

⁴¹ «Ciò che Newton non conserva, ma espunge dalla sua trascrizione dell'enunciato cartesiano, è appunto il suo contesto metafisico-teologico: il riferimento a Dio ed alla "costanza" della sua azione per il mantenimento della quantità di moto. Newton laicizza radicalmente il principio d'inerzia, facendone un assioma neutro, a-metafisico» (P. CASINI, *Newton e la coscienza europea*, Bologna 1983, p. 52).

⁴² «Descartes, con i suoi vortici, i suoi atomi uncinati, ecc. spiegava tutto e non calcolava niente; Newton con la legge di gravitazione [...] calcolava tutto e non spiegava niente» (RENÉ THOM, *Stabilità e morfogenesi*, Torino 1980, p. 8).

⁴³ U. BARTOCCI, *Albert Einstein e Olinto De Pretto: la vera storia della formula più famosa del mondo*, Bologna 1999, p. 62. Ordinario di Geometria presso il Dipartimento di Matematica dell'Università di Perugia dal 1976, dove ha insegnato per più di un ventennio anche Storia delle Matematiche, Umberto Bartocci è un esperto di "meccanismi contraffattivi" esercitati celatamente all'interno della comunità scientifica. Laddove la Scienza, nei suoi manuali, si ammantava di un cammino lineare e inesorabile, progressivo e cumulativo, gli storici del pensiero scientifico (e Bartocci è uno dei più penetranti) ci allertano di continue anomalie manifestamente lontane dalla "retta standard". «Gradualmente, e spesso senza rendersene conto, gli storici della scienza hanno cominciato a porsi un nuovo genere di domande e a tracciare per le scienze linee di sviluppo differenti e spesso tutt'altro che cumulative», sottoscrive un campione di questa disciplina come Thomas S. Kuhn nel suo celeberrimo capolavoro *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (Torino 1978, p. 21). «Si scopre innanzitutto che gli scienziati imbrogliono da sempre e che non sono solo i mediocri a farlo. Non sorprenderà dunque trovare in questa rassegna i nomi di prestigiosi premi Nobel e dei padri della scienza moderna, Galilei e Newton, accanto a quelli di scienziati rimasti anonimi o saliti agli onori delle cronache per invenzioni o scoperte false» (F. DI TROCCHIO, *Le bugie della scienza*, Milano 1993, p. 6). Sotto questa luce vale la pena di entrare in una delle pagine più significative del prof. Bartocci, amico e compagno di studi e di approfondimenti sulla tematica relativistica e sulla cartesiana natura e struttura fluido-dinamica dell'universo. Chiediamoci «come mai la concezione fisica di Cartesio sia stata "ripudiata", addirittura al punto che essa è solitamente ignorata dalle diverse storie, vuoi della filosofia che della scienza, anche soltanto come momento di transito verso la formulazione di altre teorie più vere e più giuste. Il fatto è che in quel mezzo secolo che va dall'enunciazione cartesiana della teoria fluido-dinamica dell'universo al trionfo della meccanica delle

tura filosofica nascosta dietro *la formula*⁴⁴. Si tratta, dunque, di ritrovare il nucleo semantico della *relatività del moto* che a prima vista sembra essere stato rimosso dalla collettività scientifica contemporanea, capace oramai di scorgere *solo* i contorni sfumati del reale nucleo filosofico nascosto dietro il formalismo.

Per prima cosa dobbiamo di nuovo rimarcare l'isotropia e omogeneità dello spazio, al di là della sua sostanzialità o identità. Scrive Einstein riguardo alla nozione di spazio: «Questi due concetti di spazio possono essere contrapposti come segue: (a) lo spazio come una qualità relativa alla posizione del mondo degli oggetti materiali; (b) lo spazio come contenitore di tutti gli oggetti materiali. Nel caso (a), lo spazio senza un oggetto materiale è inconcepibile. Nel caso (b) un oggetto materiale può essere concepito solo come esistente nello spazio; lo spazio appare, allora, come realtà che in un certo senso è superiore al mondo materiale. Entrambi i concetti di spazio sono libere creazioni dell'immaginazione umana, mezzi progettati per una più facile comprensione della nostra esperienza sensibile. Queste schematiche considerazioni attengono alla natura dello spazio rispettivamente dal punto di vista geometrico e dal punto di vista cinematico. Essi, in un certo senso, vengono riconciliati l'uno con l'altro dall'introduzione ad opera di Cartesio del sistema di coordinate, sebbene questo presupponga già il concetto (b), logicamente più audace, di spazio»⁴⁵. Si tratta, ora, di considerare la caratteristica saliente e comune di ambedue i concetti di spazio, vale a dire, appunto, l'isotropia e omogeneità. In particolare, un *sistema inerziale* è «un sistema di riferimento tale che rispetto ad esso lo spazio sia omogeneo ed isotro-

misteriose azioni a distanza nell'universo vuoto di Newton si giocò una delle partite più importanti per tutto lo sviluppo futuro della fisica. La vittoria come si sa andò al filosofo e fisico inglese, e ai suoi *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), che fin dal titolo fanno riferimento all'opera del grande avversario della concezione newtoniana. Newton si limitò infatti, rispetto al titolo che Cartesio aveva dato alla sua opera, soltanto a due specificazioni, contenute in quel "naturalis", che tende ad escludere il resto della filosofia dalle dispute di fisica, e in quel "mathematica" (che è tra l'altro scritto con caratteri più grandi degli altri nel frontespizio di alcune edizioni dell'opera!), che costituisce probabilmente la vera ragione del suo successo, in un'epoca che cominciava ormai ad avviarsi decisamente verso la quantizzazione e la materializzazione» (U. BARTOCCI, *Albert Einstein...*, op. cit., pp. 62-3).

⁴⁴ Si è arrivati oggi al culmine della reverenza e sottomissione alla "formula": alla cristallinità del pensiero logico-razionale, impossibilitato a scorrere "nudo" per mancanza di omologazione, viene avviluppato un esasperato formalismo matematico tale da conferire alle stesse teorie un surplus di scientificità, prestigio, autenticità e autorevolezza diversamente mal riconosciute e approvate. Diceva Kant che in una teoria «si può trovare solo tanta scienza propriamente detta, quanta è la matematica che si trova in essa», e il mondo contemporaneo sembra volerlo seguire alla lettera. Cfr. U. BARTOCCI e R.V. MACRÌ, *Il linguaggio della matematica*, «Episteme», n. 5, 2002.

⁴⁵ A. EINSTEIN, *Prefazione*, in M. JAMMER, *Storia del concetto di spazio*, op. cit., p. 10.

po ed il tempo omogeneo»⁴⁶.

Passiamo adesso a Newton. Nei suoi *Principia* scrive: «COROLLARIO V: I moti relativi dei corpi inclusi in un dato spazio sono identici, sia che quello spazio giaccia in quiete, sia che il medesimo si muova in linea retta senza moto circolare. [...] COROLLARIO VI: Se i corpi sono mossi uno rispetto all'altro in un qualunque modo, e sono spinti da forze acceleratrici eguali lungo linee parallele, essi continueranno ad essere mossi l'uno rispetto all'altro nello stesso modo, come se non fossero sollecitati da quelle forze»⁴⁷. Ciò viene usualmente tradotto in una invarianza delle leggi per traslazioni; con le parole di Max Jammer: «La meccanica di Newton è invariante rispetto ad una trasformazione di coordinate con velocità costante, ossia, rispetto ad una trasformazione galileiana»⁴⁸. Inoltre, per Newton, spazio e tempo sono degli assoluti, a differenza di Leibniz.

Ma il quadro concettuale della meccanica razionale contiene molto di più in termini di assunzioni implicite: «La struttura spazio-temporale della fisica newtoniana è matematicamente caratterizzata dall'importante proprietà espressa dal principio di relatività galileiano (1632): le descrizioni spazio-temporali delle leggi fisiche devono risultare le stesse in ogni sistema di riferimento inerziale. Precisamente, esse devono risultare invarianti non solo rispetto alle rototraslazioni del riferimento spaziale e alle traslazioni dello spazio-tempo lungo l'asse temporale ma anche rispetto a trasformazioni che producono variazioni costanti di velocità traslazionale del sistema. Trasformazioni di questo genere possono effettuarsi sia attivamente, applicando temporaneamente al sistema un opportuno sistema di forze; sia passivamente, modificando il sistema di riferimento spazio-temporale. Il principio di reciprocità, connesso con l'invertibilità dei ruoli tra soggetto e oggetto, risulta valido anche in questo caso: fatta astrazione dall'ambiente, ogni trasformazione passiva del sistema, ottenuta variando lo stato configurazionale e inerziale dell'osservatore, è equivalente a una trasformazione attiva inversa, ottenibile modificando lo stato configurazionale e inerziale del sistema osservato mediante azioni esercitate dall'esterno»⁴⁹.

⁴⁶ L.D. LANDAU e E.M. LIFSHITS, *Fisica teorica 1: Meccanica*, Roma 1979, p. 32.

⁴⁷ I. NEWTON, *Principi matematici della Filosofia naturale*, Torino 1989, pp. 128-9.

⁴⁸ M. JAMMER, *Storia del concetto di spazio*, op. cit., p. 91.

⁴⁹ R. NOBILI, *La cognizione dello spazio e il principio di dualità*, Pavia 1990, p. 11. In matematica tutto questo viene sigillato col concetto di *gruppo* (cfr. A.A. TYAPKIN, *Relatività speciale*, Milano 1993, pp. 108-9) il cui nocciolo, nel caso della situazione fisica di due sistemi inerziali K e K' , viene così definito: «Alla trasformazione delle coordinate del sistema K nelle coordinate del sistema K' corrisponde un elemento inverso, la trasformazione inversa di coordinate dal sistema K' al sistema K » (*ibidem*).

È opportuno focalizzare queste ultime righe riguardo al *principio di reciprocità*, le quali ci portano direttamente al concetto di *frame swap* (sistema di coordinate interscambiabile): ogni coppia di sistemi inerziali in moto relativo tra di loro può scambiarsi (o invertire) il ruolo di «osservatore» senza mutare i risultati. «La situazione è interamente simmetrica»⁵⁰. E tutto ciò al di là della genesi del moto⁵¹.

Un esempio chiarirà la struttura epistemologica del principio di reciprocità. Siano A e B due sistemi inerziali inizialmente privi di moto relativo tra di loro. All'istante t B subisce una accelerazione transitoria tale da acquistare velocità v rispetto ad A . Dopo l'impulso subito da B i due sistemi si ritrovano in moto relativo uniforme l'uno rispetto all'altro. Possiamo asserire che è B che si sta muovendo? Da un punto di vista aristotelico non ci sarebbe alcun dubbio che è proprio B a muoversi rispetto ad A (MGD). Ma dal punto di vista galileiano-cartesiano-newtoniano tale asserzione è facilmente neutralizzabile: nessun esperimento realizzato in A o in B o in A misurato da B o in B misurato da A si diversificherà; se i due sistemi arriveranno al *frame swap* riotteranno la medesima fenomenologia di partenza⁵².

⁵⁰ R.L. FABER, *Differential Geometry and Relativity Theory*, New York 1983, p. 109. Qui «simmetrica» va intesa come «reciproca». È cruciale scendere, a questo punto, la differenza concettuale tra «simmetria» e «reciprocità», molto spesso confuse l'una con l'altra. Il concetto di simmetria è molto ampio e spesso congloba al suo interno quello di reciprocità. In fisica si parla di simmetria tutte le volte che una trasformazione lascia invariate certe grandezze o proprietà fisiche, mentre si parla, al contrario, di violazione della simmetria quando si incontrano grandezze o proprietà non invarianti sotto la stessa trasformazione. D'altra parte una trasformazione può essere simmetrica ma non reciproca. Un esempio di reciprocità lo troviamo nella stessa relatività dello spazio: «Gulliver considerava i Lillipuziani come una razza di nani; e i Lillipuziani consideravano Gulliver come un gigante» (A.S. EDDINGTON, *Spazio, tempo e gravitazione*, Torino 1971, p. 39); cfr. pure H. POINCARÉ, *Scienza e metodo*, Torino 1997, pp. 79 sgg. La reciprocità compare pure nel concetto matematico-fisico-filosofico di *equazione* (si pensi al cambiamento di segno durante il trasporto di un termine da un membro all'altro dell'equazione, oppure al cambiamento da divisore a dividendo e viceversa) o nelle trasformazioni newtoniane del moto (per esempio in due sistemi inerziali, un *frame swap* viene codificato in forma matematica come un cambiamento di segno: se A vede B muoversi con velocità u , allora B vede A muoversi con velocità $-u$). In un lavoro successivo (R.V. MACRÌ, *Che cos'è il tempo?* Bergson, Maritain, Dingle a confronto con Einstein, op. cit.), corollario a questo, avremo modo di confrontare le strutture matematiche einsteiniane con quanto appena citato, oltre a «mettere in azione» il concetto di *frame swap*.

⁵¹ Nel cosiddetto *Manoscritto Morgan* del 1921 Einstein precisa meticolosamente le assunzioni implicite interne alla relatività ereditate dalla meccanica newtoniana: «La prima concerne l'omogeneità: le proprietà dei regoli e degli orologi non dipendono né dalla posizione né dall'istante in cui si muovono, ma solo dal modo in cui si spostano. La seconda l'isotropia: le proprietà dei regoli e degli orologi sono indipendenti dalla direzione. La terza l'indipendenza di tali proprietà dalla storia precedente di regoli e orologi» (cit. in A. PAIS, *«Sottile è il Signore...» La scienza e la vita di Albert Einstein*, Torino 1991, p. 157).

⁵² Si noti il carattere primario di tale concetto all'interno del principio di relatività. Tale che la nuova relatività di Einstein non può che inglobarlo al suo interno, essen-

Ma si potrebbe obiettare: “Però questa volta si è certi dell’accelerazione subita da B e, dunque, non ci possono essere dubbi che è proprio B a muoversi rispetto ad A ”. Significherebbe non aver imparato niente dalla lezione cartesiana. La *accelerazione* non è sinonimo di messa in moto. Lo era con Aristotele, ma non più con la nuova struttura concettuale relativista. Infatti, come abbiamo spiegato, a differenza del MGD, nel MGI l’accelerazione perde la sua “polarità”. Nessuno potrà più distinguerla da una decelerazione (se non in senso relativo). Nel nostro esempio, infatti, si sarebbe potuto immaginare che ambedue i sistemi fossero stati precedentemente accelerati rispetto ad un terzo sistema inerziale (o ad un gruppo di sistemi inerziali inizialmente in quiete, o al cosiddetto *centro di massa* dell’Universo) e che al momento t dell’apparente accelerazione subita da B prima citata si trattasse invece di una decelerazione rispetto ai restanti sistemi in moto: in tal caso B sarebbe ritornata in quiete relativa rispetto al gruppo precedente e, quindi, ci sarebbero maggiori ragioni per asserire che è A ad essere in moto.

In breve: con la nuova intelaiatura relativistica l’accelerazione perde la sua polarità, come abbiamo precedentemente dimostrato. Se poi vogliamo portare alla memoria lo *spazio assoluto* di Newton o l’*etere* del XIX secolo, allora possiamo tradurre quanto detto in termini “forti” di *equivalenza isotropica*⁵³: “ogni sistema inerziale possiede completa *equivalenza isotropica* con un ideale *aether frame*”⁵⁴.

Terminiamo adesso questa sezione con l’importante asserzione di Einstein appena citata: «Le proprietà dei regoli e degli orologi *non dipendono* né dalla posizione né dall’istante in cui si muovono, ... sono indipendenti dalla direzione [e]... *dalla storia precedente*»⁵⁵.

do quest’ultima un’*estensione* della prima: «L’innovazione di Einstein consiste nell’aver esteso il principio [di relatività] all’intera fisica» (W. RINDLER, *La relatività ristretta*, Roma 1971, p. 9). Cfr. pure C. MÖLLER, *The Theory of Relativity*, Oxford 1972, p. 4). Basti qui un’asserzione del fisico relativista al riguardo, come esempio tra le tante esposte nei vari testi di relatività, anche dello stesso Einstein: «In queste affermazioni è poi lecito scambiare sistema in quiete e sistema in moto, giacché si tratta di fenomeni di moto relativo» (G. CASTELNUOVO, *Spazio e tempo secondo le vedute di A. Einstein*, Bologna 1981, p. 36; cfr. pure p. 30).

⁵³ Cfr. R.V. MACRÌ, *I FLOP nella trattazione relativistica del tempo*, op. cit., pp. 277 sgg.

⁵⁴ Cioè un sistema fermo rispetto all’etere. Scrive Einstein nel 1909: «Il principio di relatività implica... che le leggi della natura riferite a un sistema di coordinate K' in moto uniforme rispetto all’etere siano eguali alle corrispondenti leggi riferite a un sistema di coordinate K che sia a riposo nell’etere. Se però le cose stanno così abbiamo ragioni altrettanto buone di immaginare l’etere a riposo rispetto a K' , che rispetto a K » (cit. in L. KOSTRO, *Einstein e l’etere. Relatività e teoria del campo unificato*, Bari 2001, p. 58, e anche p. 62).

⁵⁵ Cfr. nota 50, corsivo aggiunto.

4. L’approccio einsteiniano alla Relatività

Alla fine del XIX secolo la fisica era arrivata ad un mirabile accumulo di conoscenze ed esperienze che, però, nascondeva all’interno delle insoddisfazioni sia di carattere teoretico sia di carattere empirico. Le prime possiamo formularle tramite un libro di testo utilizzato dallo stesso Einstein e che ebbe con molta probabilità l’importanza di ispirarlo nel suo lavoro fondamentale del 1905.

Uno dei percorsi che Einstein avrebbe seguito per arrivare alla relatività, secondo l’originale ricostruzione di Gerald Holton⁵⁶, conduce ad un manuale tedesco pubblicato nello stesso anno in cui Einstein stava per abbandonare il ginnasio; un manuale sulla teoria elettromagnetica di Maxwell scritto da un certo August Föppl, ingegnere civile per formazione e filosofo per temperamento, il quale era stato accolto con entusiasmo dagli studenti che cercavano di trovare un appiglio per entrare nel mondo di Maxwell. Tra questi c’era pure Einstein⁵⁷. Nel quinto capitolo del suo manuale, Föppl espose i marcati difetti che segnavano la fisica, e sfidò i fisici a prendere in considerazione la possibilità di cambiare le loro concezioni di spazio. Nella meccanica newtoniana e in particolare in quella di Mach, spiegava Föppl, non c’era un contesto di riferimento assoluto, e soltanto posizioni e moti relativi avevano significato fisico. L’elettromagnetismo, tuttavia, ne aveva sicuramente uno, vale a dire l’etere, il tramite che riempiva lo spazio e trasmetteva onde e altri campi di forza. Ciò conduceva a conflitti di principio. Era il moto relativo o il moto assoluto che contava? Föppl cercò di rispondere a questa domanda immaginando cosa sarebbe successo se una bobina e un magnete si fossero mossi insieme, alla stessa velocità, nell’etere. In questo caso, come mostrò un esperimento, non ne sarebbe risultata alcuna corrente, soltanto la stessa che se i due oggetti fossero stati immobili su un tavolo. Perciò era il moto relativo quello che contava, almeno in questo caso. L’«esperimento di pensiero» (*Gedankenexperiment*) di Föppl non lasciava spazio per l’etere. Egli paragonò l’idea di spazio senza un etere a una foresta senza alberi... ma avvertì che i fisici sarebbero stati presto costretti ad accettare questo strano e sgradevole concetto. «La decisione in merito», scrisse, «rappresenta forse il problema più

⁵⁶ G. HOLTON, *Thematic Origins of Scientific Thought. Kepler to Einstein*, Londra 1973 e 1988.

⁵⁷ Cfr. Lettera di Michele Besso ad Albert Einstein del 3 agosto 1952, in *Einstein’s Collected Papers*, Vol. II, p. 309.

importante della scienza del nostro tempo»⁵⁸.

«Decisione» che Einstein annunciò di aver preso nel suo fondamentale lavoro del 1905. Infatti, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, prende le mosse proprio dall'apparente irreperibilità a livello sperimentale dell'asimmetria concettuale dell'elettrodinamica di Maxwell: «È noto che l'elettrodinamica di Maxwell – così come essa è oggi comunemente intesa – conduce, nelle sue applicazioni a corpi in movimento, ad asimmetrie che non sembrano conformi ai fenomeni. Si pensi ad esempio alle interazioni elettrodinamiche tra un magnete e un conduttore. Laddove la concezione usuale contempla due casi nettamente distinti, a seconda di quale dei due corpi sia in movimento, il fenomeno osservabile dipende, in questo caso, solo dal moto relativo del magnete e conduttore»⁵⁹.

Ma esiste anche un altro percorso che porta alla teoria di Einstein, sfruttato massicciamente nei testi divulgativi e non, e che lo scienziato tedesco sembra aver affannosamente e ripetutamente negato di aver seguito⁶⁰, fino ad far sorgere legittimi frammenti di dubbio⁶¹. Si tratta della via “maestra” percorsa da FitzGerald, Lorentz,

⁵⁸ Cit. in D. OVERBYE, *Einstein innamorato*, Milano 2002, p. 168.

⁵⁹ A. EINSTEIN, *L'elettrodinamica dei corpi in movimento*, in ALBERT EINSTEIN, *Opere scelte*, a cura di Enrico Bellone, Torino 1988, p. 148.

⁶⁰ G. HOLTON, *L'immaginazione scientifica*, Torino 1983.

⁶¹ La ragione per cui Einstein omette ogni dato bibliografico nel suo celeberrimo lavoro del 1905 è da ricercarsi, con ogni probabilità, nel tentativo di occultare i propri debiti intellettuali, epistemologici e “relativistici” (o, in altre parole, le potenziali accuse di plagio) verso i suoi precursori e maestri: Lorentz e Poincaré. Ed è questo il motivo per il quale non è citato neanche Michelson e il suo celeberrimo esperimento, quello stesso che lui smentirà di aver mai sentito nominare prima, nonostante fosse un appassionato di esperimenti di questo tipo e avesse tentato già nel 1899 – 6 anni prima del suo lavoro fondamentale – di proporre al suo professore Heinrich Friedrich Weber un esperimento simile (cfr. D. OVERBYE, *Einstein innamorato*, Milano 2002, pp. 66-7). Weber rinviò Einstein a uno studio sulle teorie dell'etere e a questo genere di esperimenti scritto in Germania nel 1898 dal fisico Wilhelm Wien. «In quello studio, Wien verificava i risultati di tredici diversi esperimenti condotti nel tentativo di determinare il moto della Terra attraverso l'etere, dieci dei quali, compresa la prova Michelson-Morley, erano falliti. Era la prima volta che Albert sentiva parlare del lavoro Michelson-Morley, e tornato a Milano scrisse tutto eccitato a Wien delle sue idee...» (*ibidem*, Si veda pure p. 109, e anche A. PAIS, «Sottile è il Signore...». *La scienza e la vita di Albert Einstein*, op. cit., p. 61). Come rileva giustamente Marco Mamone Capria, «oggi si sa che Einstein era a conoscenza... della rassegna di Wien» (M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo: la teoria della relatività*, op. cit., p. 299). Commenta senza mezzi termini Pais: «La risposta è che Einstein doveva senza dubbio conoscere il risultato di Michelson e Morley» (A. PAIS, op. cit., p. 34). Ma la ragione ultima del rinnegamento di Einstein riguardo alla conoscenza del citato esperimento è quella di eliminare ogni relazione epistemologicamente parentale con quel fisico olandese che portò alla ribalta numerose volte e con insistenza quello stesso esperimento e alle cui equazioni celeberrime – alle quali Einstein avrebbe voluto far apparire di essere arrivato incontinentamente da solo nel suo saggio del 1905 – era già arrivato da anni sotto gli occhi dello stesso Einstein che lo seguiva fin dal 1901 (cfr. OVERBYE, op. cit., p.

Poincaré e altri. Essa parte da una serie di esperimenti cruciali, in particolar modo dall'*esperimento di Michelson e Morley* (1881-1887). Si tratta sostanzialmente della seguente idea: la Terra, durante il suo

115; anche A. PAIS, op. cit., p. 61). Lo stesso Einstein, in una conferenza tenuta a Kyoto nel dicembre del 1922, parlando dei suoi tentativi precedenti il suo “parto” del 1905, ammette di aver «perso quasi un anno in riflessioni infruttuose, nella speranza di riuscire a modificare l'idea di Lorentz» (A. PAIS, op. cit., p. 153). Si noti che lo studioso in genere non si lascia sfuggire le novità dello stesso autore su un argomento che ha a cuore: non è realistico pensare ad Einstein che scruta alcuni scritti di Lorentz, magari interessato alle equazioni relative all'elettrone, senza accertarsi anche (e soprattutto) degli scritti successivi dello stesso riguardo a novità sull'argomento. «Sulla base dei suoi postulati Einstein deduce la TL [Trasformazione di Lorentz], peraltro in una maniera che reca chiara testimonianza del fatto che l'autore sapeva dove doveva arrivare – cioè che egli conosceva le equazioni finali» (M. MAMONE CAPRIA, op. cit., p. 300). Ma c'è di più. Poincaré può essere considerato il vero “alter ego” o “maestro interiore” di Einstein. Questi si cibò delle idee di Poincaré almeno dal 1902 e forse anche prima. Ricorda in un pregevole testo Lewis Feuer: «A Berna, dove Einstein, dopo aver perso praticamente due anni, aveva iniziato a lavorare il 23 giugno 1902 come tecnico di terza classe dell'Ufficio brevetti, i suoi amici costituirono un circolo che chiamarono *Akademie Olympia*. [...] I suoi tre membri erano Conrad Habicht, Maurice Solovine e Einstein, ma come tutte le accademie, aveva quelli che si potrebbero definire i suoi “soci corrispondenti”. Il gruppo si riuniva di solito nella camera di Einstein, dove si preparava caffè turco e si leggeva Mach, Poincaré, la *Logica* di Mill, Hume» (L.S. FEUER, *Einstein e la sua generazione. Nascita e sviluppo di teorie scientifiche*, Bologna 1990, pp. 97-98). «Le idee di Poincaré fecero il loro ingresso nella cultura dell'*Akademie Olympia* probabilmente con le discussioni dei suoi membri sulla “legge della relatività”. Solovine ci ha riferito come l'*Akademie* comprendesse fra le sue letture il trattato di Poincaré *Scienza e ipotesi*» (ivi, p. 161). Era il libro che aveva scosso più di ogni altro l'immaginazione e l'interesse dell'*Akademie Olympia*, come ricorderà Solovine: «Scienza e ipotesi di Poincaré, un libro che destò in noi una profonda impressione e ci tenne senza fiato per molte settimane» (*ibidem*). Puntualizza Pais: «In particolare, *La science et l'hypothèse* del noto matematico e filosofo Henry Poincaré lasciò in loro un'impressione profonda» (A. PAIS, *Einstein è vissuto qui*, Torino 1995, p. 117). Il matematico francese già fin dal 1895 aveva messo in luce quello che Einstein, dieci anni dopo, prenderà come suggerimento essenziale per il suo saggio: «L'esperienza ha rivelato una quantità di fatti che possono riassumersi nella seguente formula: è impossibile rendere manifesto il movimento assoluto della materia, o meglio il movimento relativo della materia ponderabile rispetto all'etere; tutto ciò che si può mettere in evidenza è il movimento della materia ponderabile rispetto alla materia ponderabile» (H. POINCARÉ, *A proposito della teoria di Larmor* (1895), in Jules Henri Poincaré, *Scritti di fisica-matematica*, a cura di U. SANSO, Torino 1993, p. 321). Persino il titolo del saggio, con ogni probabilità, fu suggerito ad Einstein dal titolo del quinto paragrafo dello stesso scritto: *Elettrodinamica dei corpi in movimento* (ivi, p. 286). Inoltre, 7 anni prima che Einstein parlasse di “relatività della simultaneità”, «il cervello vivente delle scienze razionali» (U. BOTTAZZINI, *Poincaré: il cervello delle scienze razionali*, Milano 1999, p. 1), aveva già messo in discussione il concetto di simultaneità di eventi spazialmente distanti, aggiungendo tecniche e metodiche sulla relativa sincronizzazione degli orologi. Nel 1898 Poincaré dichiarava *relativa* la *simultaneità*: «Non abbiamo l'intuizione diretta della simultaneità, non più di quella dell'uguaglianza delle durate [...] Scegliamo dunque queste regole [la simultaneità di due eventi] non perché sono vere, ma perché sono le più comode [...] In altri termini, tutte queste regole, tutte queste definizioni, sono solo il frutto di un opportunismo inconsapevole» (H. POINCARÉ, *La Mesure du Temps*, in «Revue de Métaphysique et de Morale», 6 :1, 1898). Aggiunge Abraham Pais: «Queste righe suonano come un programma generale cui sarebbe stata data forma concreta sette anni dopo» (A. PAIS, «Sottile è il Signore...», op. cit., p. 142). Non ci possono essere dubbi che Einstein inseguì la scia epistemologica di Poincaré da molto vicino. Si noti che nel libro di

moto di rivoluzione intorno al Sole, doveva necessariamente “sbattere” contro quell’oceano di aristotelica memoria chiamato *etere* (si parlò appunto di “vento d’etere”), il quale veniva concepito come “rigido” e immobile rispetto alla totalità dell’universo (in pratica come una “spazio sostanziale”). Così, in modo del tutto gratuito e senza sforzo, i nostri laboratori terrestri si dovrebbero trovare automaticamente nella condizione di un osservatore *mobile* nell’etere. Ed essendo questo il mezzo di propagazione della luce – così come l’aria lo è per il suono – dovrebbe essere possibile in linea di principio, con

Poincaré *La scienza e l'ipotesi* del 1902 compare il seguente percorso concettuale insegnato da Einstein: «1. Non c'è spazio assoluto e noi non concepiamo che movimenti relativi... 2. Non c'è tempo assoluto. Dire che due durate sono uguali è un'asserzione priva di senso e che non può acquisirne che per convenzione. 3. Non solo noi non abbiamo intuizione diretta dell'eguaglianza di due durate, ma non possediamo neppure quella della simultaneità di due avvenimenti che si producono su due teatri diversi. E quanto ho spiegato nel mio articolo intitolato *Misura del tempo*. 4. Infine, la nostra geometria euclidea non è, essa stessa, che una sorta di convenzione linguistica» (H. POINCARÉ, *La scienza e l'ipotesi*, Bari 1989, pp. 107-8). All'interno dello stesso libro si parla di Lorentz e della sua teoria, toccando finanche gli ultimi esperimenti cruciali. Verso la fine si legge: «Poco importa che l'etere esista realmente. È un problema che riguarda i metafisici. L'essenziale, per noi, è che tutto accada come se l'etere esistesse [...] Anche questa non è che un'ipotesi comoda, e non cesserà di essere tale, mentre verrà il giorno in cui l'etere sarà considerato inutile» (ivi, p. 207). Non solo! In un articolo del 1900 (H. POINCARÉ, *La théorie de Lorentz et le principe de réaction*, «Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles», serie II, vol. 5) Poincaré precede Einstein sul concetto di tempo “locale” misurato da un osservatore in moto ed espone la metodica della sincronizzazione mediante segnali luminosi di orologi situati in punti diversi dei sistemi inerziali, puntualmente riprodotta dallo stesso Einstein nel suo lavoro fondamentale del 1905. Rileva acutamente Tyapkin al riguardo: «Queste spiegazioni coincidevano alla lettera con quelle date in un articolo di Poincaré del 1900 e concernenti il significato fisico del tempo “locale” di Lorentz» (A.A. TYAPKIN, *Relatività speciale*, op. cit., p. 79). Aggiunge Feuer: «Durante il Congresso Internazionale delle Arti e delle Scienze tenuto a St. Louis nel 1904, il famoso matematico francese Henri Poincaré usò (nel suo senso fisico) l'espressione “principio della relatività”. Fu forse il primo a farlo...» (L.S. FEUER, op. cit., p. 123). Bisogna dunque concordare con Pais: «È praticamente certo, comunque, che Einstein prima del 1905 fosse a conoscenza del discorso di Poincaré a Parigi del 1900, e che avesse letto anche la sua osservazione del 1898 sulla natura non intuitiva dell'uguaglianza fra due intervalli temporali» (A. PAIS, «*Sottile è il Signore...*», op. cit., p. 150). Risulta quindi comprensibile e giustificata l'amarezza di Poincaré nell'essere stato eliminato di netto e senza riconoscimento da parte di Einstein (al fine di nascondere il furto commesso da quest'ultimo sul piano del popperiano *mondo 3*: l'essere stato, cioè, parzialmente derubato delle proprie idee), come risulta chiaro dalle parole di Pais: «Secondo me, il fatto che Poincaré abbia ignorato Einstein fino a poco tempo prima di morire è più significativo del fatto che Einstein abbia a sua volta ignorato Poincaré fino a poco tempo prima di morire» (ivi, p. 186). Rileva Luigi Galgani: «Einstein entrò, quasi letteralmente, nello spirito di Poincaré, e come si potrebbe dire ed egli stesso infatti ebbe a dire, “si sostituì” a Poincaré» (L. GALGANI, *Einstein e Poincaré*, in V. FANO (a cura di), *Fondamenti e filosofia della fisica*, Cesena 1996, p. 7). Altre testimonianze si trovano – oltre al pregevole lavoro di Mamone Capria citato (M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo: la teoria della relatività*, op. cit.) – in A.A. TYAPKIN, *Relatività speciale*, op. cit.; E. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, New York 1989; e specialmente C.J. BJERKNES, *Albert Einstein: The Incurable Plagiarist*, Illinois 2002.

osservazioni ottiche di precisione, cioè attraverso tecniche interferometriche, constatare l'anisotropia della velocità della luce rispetto all'osservatore in movimento.

Michelson, nel 1881 progettò un dispositivo sensibilissimo (per il quale ventisei anni dopo ottenne il premio Nobel) funzionante tramite fasci luminosi separati ortogonalmente da uno specchio semitrasparente e poi ricongiunti, in modo da misurare le cosiddette frange d'interferenza dovute alla variazione di velocità di una parte dei fasci a causa del vento d'etere. Il congegno, all'apparenza elementare e di evidenza immediata, cominciò a lievitare col tempo una serie di dubbi e perplessità sempre crescenti, fino a smascherare l'ingenuità metodologica di intere schiere di scienziati ritenuti eccelsi che avevano fin dal primo impatto dato credito assoluto alla spiegazione germinale dello stesso Michelson⁶². Venne ripetuto con maggiore accortezza e precisione insieme al chimico Morley nel 1887, ma riebbe lo stesso risultato negativo: del vento d'etere nessuna traccia!

A quasi tre secoli di distanza dalla prima rivoluzione scientifica sembrava che la Terra si volesse vendicare per averla fatta decentrare ed esiliare in una periferia sperduta dell'Universo: se l'etere esisteva, la Terra doveva essere in quiete rispetto ad esso ed occupare quella posizione privilegiata che le era stata tolta. Uno smacco intollerabile per la comunità scientifica, la quale non prese neanche per un attimo l'idea di fare marcia indietro: nessuno osò formulare l'idea, neanche lontanamente o soltanto teoreticamente, filosoficamente... neppure narrativamente!

Mentre scienziati di grosso calibro come FitzGerald⁶³, Larmor, Lorentz, Poincaré cercavano una spiegazione *dinamica* e causale dell'assenza delle frange, un giovanotto tedesco di nome Einstein e fino allora sconosciuto mise in subbuglio l'intero *establishment* scientifico con due postulati divenuti in seguito celeberrimi: 1) le leggi della fisica devono avere la stessa forma in tutti i riferimenti inerziali; 2) la velocità della luce nel vuoto è la stessa sia che questa sia emessa da una sorgente in quiete che da una in moto. Aggiunse pure la seguente affermazione: «L'introduzione di un “etere luminifero” si manifesterà

⁶² Per un approfondimento v. R.V. MACRÌ, *I FLOP nella trattazione relativistica del tempo*, op. cit., p. 255; e M. MAMONE CAPRIA e F. PAMBIANCO, *On the Michelson-Morley Experiment*, «Foundations of Physics», 34, n.6, 1994; e soprattutto R.V. MACRÌ, *L'esperimento di Michelson e Morley: elementi eclissati ed ermeneutica emergente*, in prep.

⁶³ Riguardo all'interpretazione originale di FitzGerald si rimanda a R.V. MACRÌ, *La contrazione di FitzGerald: un esempio di leggenda metropolitana all'interno della comunità scientifica*, preprint.

superflua, tanto più che la concezione che qui illustreremo non avrà bisogno di uno “spazio assolutamente stazionario” corredato di particolari proprietà, né di un vettore velocità assegnato a un punto dello spazio vuoto nel quale abbiano luogo processi elettromagnetici»⁶⁴. L'etere, dunque, venne “assassinato”, come Einstein ammetterà in seguito assieme a Leopold Infeld: «Il risultato del celebre esperimento di Michelson e Morley fu un ‘verdetto di morte’ per la teoria di un oceano d'etere immobile attraverso il quale tutta la terra si muoverebbe»⁶⁵. Commenta con penetrazione uno dei primi relativisti, amico di Einstein (e coautore di testi sull'argomento), il quale con gli anni prenderà le distanze sempre più marcatamente dai concetti einsteiniani: «Qui Einstein ha fatto la sua seconda assunzione..., la quale ci dice che non esiste un etere rispetto al quale la velocità abbia un significato, in modo tale che tutti gli stati di moto uniforme dei corpi fossero equivalenti. Ciò era in diretto contrasto con l'assioma fondamentale di Maxwell, come si evince dalla lettura del suo lavoro fondamentale, il quale assumeva l'esistenza di un etere rispetto al quale la velocità di un corpo veniva definita. La luce consisteva di vibrazioni in questo etere, il quale godeva di proprietà fisiche ed era anche determinabile in via di principio. Quello che Einstein ha proposto, quindi, è stato quello di ritenere la velocità finita della luce senza l'esistenza di qualunque standard rispetto al quale tale velocità avesse un significato. La luce consistente di onde, con una precisa

⁶⁴ A. EINSTEIN, *L'elettrodinamica dei corpi in movimento*, 1905, op. cit., p. 149.

⁶⁵ A. EINSTEIN e L. INFELD, *L'evoluzione della fisica*, Torino 1965, p. 183. Nella pagina successiva dello stesso testo viene suggerito di «dimenticare» e «non pronunciare più il nome» (ivi, p. 184). Dunque, niente di strano se Einstein viene visto come *il distruttore dell'etere*. Scrive Pais al riguardo: «Solo Einstein vide la novità cruciale: l'etere dinamico doveva essere abbandonato in favore di una nuova cinematica basata su due nuovi postulati» (A. PAIS, «Sottile è il Signore...», *La scienza e la vita di Albert Einstein*, op. cit., p. 34). Sennonché Einstein è il re della contraddizione, come attesta il lettore attento che non si arresta alla sola lettura “ufficiale”, come dimostreremo in parte più avanti. Si suol leggere nei testi divulgativi che «Albert Einstein divenne la figura più rappresentativa della fisica moderna tagliando il nodo della questione dell'etere con la acutezza della sua logica e gettando i frammenti contorti dell'etere cosmico dalla finestra del tempio della fisica» (G. GAMOW, *Biografia della fisica*, Milano 1998, 171). All'interno di altri lavori meno famosi dello stesso Einstein però si scorge il logorio interiore e il ripensamento, quasi come il rimorso dell'assassino, con vari tentativi di recupero dell'etere. Nella biografia di Einstein di Philipp Frank viene citata una frase “maliziosa” che riesce, però, a tastare il polso sull'argomento: «Per molto tempo sono stati fatti degli sforzi per convincerci del fatto sensazionale che l'etere era stato eliminato, ed ora lo stesso Einstein lo reintroduce; quest'uomo non deve essere preso sul serio, si contraddice costantemente» (L. KOSTRO, *Einstein e l'etere. Relatività e teoria del campo unificato*, op. cit., p. 9). Per i “travagli”, i ripensamenti e le metamorfosi del pensiero einsteiniano su tale concetto si rimanda al prezioso lavoro di Ludwik Kostro appena citato.

lunghezza, frequenza e velocità, ... era intessuta di “nulla”; era come trovare [parafrasando *Alice nel paese delle meraviglie* (si ricordi lo *Stregatto*)] il “sorriso” del “gatto del Cheshire” privo del gatto stesso»⁶⁶.

Vedremo più avanti come la rinuncia all'etere abbia coinvolto quella alla “sostanzialità” e all’“intuizione”, vettorializzando le nascenti teorie fisiche verso il matematismo astratto e il vuoto formalismo. Adesso ci preme rilevare tre punti fondamentali per la storia della scienza e per quanto andremo ad aggiungere più avanti, tracciati dallo stesso Einstein nel suo lavoro fondamentale del 1905 e apparentemente interdipendenti e consequenziali l'uno con l'altro, in realtà logicamente sconnessi e solo epistemologicamente parzialmente legati⁶⁷. Si tratta di tre concetti per i quali Einstein è diventato famoso, insieme all'altro che esprime la relazione tra massa ed energia: *la relativizzazione della simultaneità, la dilatazione del tempo, la “simmetrizzazione” delle trasformazioni di Lorentz*. Nonostante le apparenze di “deduzioni” o conseguenze necessarie, si tratta in realtà di tre *assunzioni* poste dallo stesso Einstein a fondamento della sua teoria e che annidano al loro interno (nonché nella loro “interazione”) dei *falsificatori logici potenziali* (FLOP).

5. Il concetto di FLOP e i punti deboli della Relatività

Un nuovo concetto epistemologico, capace di incrementare il livello di contrasto e percezione analitica nelle teorie fisiche, è stato

⁶⁶ H. DINGLE, *Science at the Crossroads*, Londra, 1972, p. 155.

⁶⁷ Semmai, come dimostreremo nel prossimo paragrafo, sono logicamente connessi in modo “invertito” rispetto alle aspettative di Einstein. Per quanto riguarda una prima parziale indipendenza logica dei tre punti si può partire dagli scritti di un relativista convinto come Hans Reichenbach (H. REICHENBACH, *Filosofia dello spazio e del tempo*, Milano 1977) per arrivare a quelli di un relativista non più convinto come Franco Selleri, uno dei “grandi” nel panorama internazionale (F. SELLERI, *Clock synchronization and relativity*, in F. SELLERI (a cura di), *Fundamental Questions in Quantum Physics and Relativity*, Palm Harbor 1993; pure fondamentali i seguenti lavori dello stesso autore: *Theories equivalent to special relativity*, in M. BARONE e F. SELLERI (a cura di), *Frontiers of Fundamental Physics*, London – New York 1994; *Noninvariant one-way velocity of light*, «Found. Phys.», 26:641, 1996; *Noninvariant one-way speed of light and locally equivalent reference frames*, «Found. Phys. Lett.», 10:73, 1997; *The relativity principle and the nature of time*, *Found. Phys.*, 27:1527, 1997; *Space and Time are better than Spacetime*, (I e II), in K. RUDNICKI (a cura di), *Redshift and Gravitation in a Relativistic Universe*, Montreal 2001; *Open Questions in Relativistic Physics*, Montreal 1998; *La fisica del Novecento. Per un bilancio critico*, Bari 1999; *Lezioni di relatività. Da Einstein all'etere di Lorentz*, Bari 2003).

ultimamente proposto da chi scrive⁶⁸ e preso in seria considerazione nel settore della fisica relativistica e quantistica⁶⁹. Si intende in questo modo potenziare quel tentativo di recupero, all'interno della scienza, della componente filosofica rimasta agonizzante o atrofizzata durante gli ultimi tempi, nobile meta della Grecia antica e della Scolastica. Va infatti imputato, a nostro avviso, al progressivo impoverimento filosofico (sia nel senso di analfabetismo "contenutistico", sia in quello sillogistico "formale" così degenerato da far pensare a «un indebolimento e un generale decadimento della ragione»⁷⁰) se l'*irrazionale*, l'*anti-intuitivo*, l'*assurdo* hanno preso piede così tanto nella letteratura scientifica contemporanea⁷¹. In altri termini, quello che manca negli attuali curricula scientifici è – per dirla con le parole di Jacques

⁶⁸ R.V. MACRÌ, *I FLOP nella trattazione relativistica del tempo*, op. cit.

⁶⁹ F. SELLERI, *Lezioni di relatività. Da Einstein all'etere di Lorentz*, op. cit., p. 148; v. anche F. SELLERI, *Introduzione*, in F. SELLERI (a cura di), *La natura del tempo*, op. cit., pp. 30-1.

⁷⁰ J. MARITAIN, *Antimoderno*, Roma 1979, p. 50. Maritain ha denunciato con enfasi e in più passaggi il dramma di come si sia oramai arrivati al punto di non saper «più tirar la conclusione di un sillogismo» (ivi, p. 51). Scrive il grande pensatore francese: «Il mondo moderno produce e consuma una straordinaria quantità di derrate intellettuali. Non ci sono mai stati tanti autori, tanti professori, tanti ricercatori, tanti laboratori e strumenti, tanto talento, tanta carta. Ma se vogliamo stimare le cose dalla qualità, e non dal peso, si vedrà ciò che esso in realtà è, e si rimarrà spaventati dalla diminuzione dell'intelligenza. L'Intelligenza in senso comune, l'agilità nell'agitar parole, è ben presente, e regna; ma l'intelligenza vera è soltanto una mendicante scacciata da ogni luogo» (ivi, p. 50). Tant'è che, secondo la profonda analisi di Maritain, bisogna addirittura difendere la stessa ragione dal contagio dominante della scienza: «Qualche anno fa ci si divertiva a dire: *Difendi la tua pelle contro il tuo medico*. Il mondo moderno è costretto ora di dire a se stesso, e con maggior ragione: *Difendi la tua ragione contro gli scienziati*» (J. MARITAIN, *La metafisica dei fisici ossia la simultaneità secondo Einstein*, «Rivista di Filosofia Neoscolastica», 16, 1924, p. 327).

⁷¹ Per una denuncia dell'*assurdo* all'interno delle teorie fisiche contemporanee cfr. P.C. LANDUCCI, *Einstein confutato dalla fondamentale esperienza di Michelson*, «Studi Cattolici», 249, 1981, p. 731; e, soprattutto, J. MARITAIN, *La metafisica dei fisici...*, op. cit. Per un esempio palpabile di quanto stiamo dicendo: «Le cose di cui vi parlerò le insegniamo agli studenti di fisica degli ultimi anni di università: ora, voi pensate che io riuscirò a spiegarle in modo da farvele capire? Ebbene, no, non le capirete. Perché, allora, farvi perdere del tempo? Perché tenervi qui seduti, se non sarete in grado di capire ciò che dirò? Per convincervi a non andar via solo perché questa conferenza vi risulta incomprensibile, vi dirò anche che i miei studenti di fisica non capiscono queste cose. E non le capiscono perché non le capisco nemmeno io. Il fatto è che non le capisce nessuno. [...] Alcune delle cose che vi dirò vi... [sembreranno] incredibili, inaccettabili, impossibili da mandar giù. [...] I fisici hanno imparato a convivere con questo problema: hanno cioè capito che il punto essenziale non è se una teoria piaccia o non piaccia, ma se fornisca previsioni in accordo con gli esperimenti. La ricchezza filosofica, la facilità, la ragionevolezza di una teoria sono tutte cose che non interessano. Dal punto di vista del buon senso l'elettrodinamica quantistica descrive una natura assurda. Tuttavia è in perfetto accordo con i dati sperimentali. Mi auguro quindi che riuscirete ad accettare la Natura per quello che è: assurda» (R.P. FEYNMAN, *QED: la strana teoria della luce e della materia*, Milano 1989, pp. 24-5).

Maritain – la «mancanza di solida base filosofica»⁷², che a sua volta avvelena quel «clima di interesse reciproco fra fisici e filosofi che oggi sicuramente non c'è – almeno dei primi verso i secondi»⁷³. Basta pensare al modo come si esprime il premio Nobel Richard Feynman che non usa mezzi termini: «La ricchezza filosofica, la facilità, la ragionevolezza di una teoria sono tutte cose che non interessano»⁷⁴. Ettore Majorana aveva già analizzato con profondità la questione: «Intanto le scienze, specializzatissime, ritengono di non aver da preoccuparsi minimamente di tali questioni [le basi concettuali, i fondamenti] che con disprezzo dichiarano psicologiche. Né hanno da preoccuparsi di questioni logiche e di problematiche filosofiche»⁷⁵. Diceva Platone che «chi vede l'intero è filosofo, chi no, no», contrariamente al sentire contemporaneo, il quale sembra voler spezzare in modo tanto deciso quanto irresponsabile il nesso storico ed epistemologico tra scienza e filosofia, dimenticando che la prima è figlia della

⁷² J. MARITAIN, *La metafisica dei fisici ossia la simultaneità secondo Einstein*, op. cit., p. 327.

⁷³ M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo...*, op. cit., p. 363.

⁷⁴ R.P. FEYNMAN, op. cit., p. 25.

⁷⁵ Cit. in U. BARTOCCI, *La scomparsa di Ettore Majorana: un affare di Stato?*, Bologna 1999, p. 85. L'acume filosofico e scientifico del Majorana era avvertito e temuto da molti: si trattava di un genio profondissimo la cui passione per la fisica non poteva certo esaurire le sue risorse mentali, filosofiche e spirituali che andavano ben al di là dell'orizzonte scientifico. «"Il Grande Inquisitore è un metafisico", così lo etichettano i suoi amici...» (U. BARTOCCI, *La scomparsa di Ettore Majorana...*, op. cit., p. 84). Uno dei grandi fisici italiani dell'era di Fermi, Bruno Pontecorvo, porta un'incisiva testimonianza di quanto appena delineato: «Majorana possedeva già una erudizione tale ed aveva raggiunto un tale livello di comprensione della fisica da potere parlare con Fermi di problemi scientifici da pari a pari. Lo stesso Fermi lo riteneva il più grande fisico teorico dei nostri tempi. Spesso ne rimaneva stupito» (cit. in E. RECAMI, *Il caso Majorana*, Milano 1991, p. 22). Enrico Fermi poi attesterà: «Al mondo ci sono varie categorie di scienziati; gente di secondo e terzo rango, che fanno del loro meglio ma non vanno lontano. C'è anche gente di primo rango, che arriva a scoperte di grande importanza, fondamentale per lo sviluppo della scienza. Ma poi ci sono i geni come Galileo e Newton. Ebbene Ettore era uno di quelli. Majorana aveva quel che nessun altro al mondo ha». Risultano, dunque, estremamente rilevanti le osservazioni e riflessioni di Ettore Majorana sul nucleo epistemologico della scienza dell'epoca: «C'è nella filosofia della scienza d'oggi quasi un'immensa diffidenza della natura. Forse, direbbe Federico Nietzsche, un nuovo spirito apollineo che ha paura della verità naturale, e vuole costruire qualcosa di puro, di razionale, di immateriale, per cui il rigore logico, la dimostrazione matematica, il calcolo sublime darebbero la misura del vero. In questo modo si riduce il problema della scienza a mera costruzione ipotetico-deduttiva, la quale conduce a conclusioni necessarie e forzose sulla base di asserzioni ipotetiche ritenute sicure e incontestabili» (cit. in U. BARTOCCI, *La scomparsa di Ettore Majorana...*, op. cit., p. 88). E ancora: «Quel ch'è certo è che i nostri docenti non colgono mai l'essenziale delle questioni e infilzano un teorema dietro l'altro, senza minimamente preoccuparsi di chiarire criticamente quel che di mutante sta avvenendo nella concezione della scienza moderna. Ma se andassi a esporre queste cose all'Università, potrei solo fare, se ne avessi il coraggio, la fine di Boltzmann: suicidarmi» (ivi, p. 84).

seconda: «La filosofia e la scienza sono assai più intimamente legate che non credano gli scienziati che disprezzano la prima e i filosofi che ignorano la seconda», scrive uno dei rari fisici non privo di conoscenze filosofiche⁷⁶.

Il nostro concetto di *falsificatore logico potenziale* (FLOP) prende le mosse dall'analisi popperiana sul cosiddetto *falsificatore potenziale*⁷⁷, sfociando però su un programma più teoretico e audace: ogni teoria può nascondere al suo interno dei salti concettuali, buche logiche, ragionamenti difettosi, paralogismi, antinomie, incompatibilità tra supposizioni implicite e postulati espliciti, i quali verranno alla luce improrogabilmente ma non necessariamente “adesso”: “prima o poi”, “potenzialmente”. Viene dunque suggerito di denominare come FLOP la classe di tutti *quei falsificatori latenti di tipo puramente logico o formale*, tramite i quali, nello stato affiorante o emergente, la teoria si rende contraddittoria e incoerente⁷⁸. In modo del tutto generale, il FLOP è l'elemento che smaschera e rivela le sfuggenti, potenziali, occulte, subliminali buche logiche annidate internamente. Mentre il falsificatore potenziale popperiano è prevalentemente empirico e induttivo, emergente tramite il baconiano *experimentum crucis*, il FLOP è esclusivamente logico, filosofico, concettuale, deduttivo. Laddove il primo qualifica un sistema come scientifico, il secondo lo rende incoerente e contraddittorio: una teoria è razionale se è esente da FLOP.

Lapalissiana risulta la relazione parentale del suddetto concetto con quello di *incoerenza logica*. D'altra parte il concetto prende le mosse dalla nuova intelaiatura epistemologica che si è venuta a creare con Einstein (e in seguito con la meccanica quantistica) circa l'utilizzo massiccio e l'enormità del peso concettuale del cosiddetto *esperi-*

⁷⁶ A. GARBASSO, *Scienza realistica*, in J. DE BLASI (a cura di), *Scienza e poesia*, Firenze 1934, p. 220.

⁷⁷ Nella sua *Logik der Forschung*, pubblicata a Vienna nell'autunno del 1934, Karl Popper veniva a creare un vero e proprio punto di svolta contro il *verificazionismo*: capovolgendo le posizioni concettuali di quest'ultimo, faceva entrare in scena per la prima volta il metodo *falsificazionista*, il quale consiste appunto nel «prendere in considerazione possibili falsificatori invece di possibili verificatori» (K.R. POPPER, *Logica della scoperta scientifica*, Torino 1970, p. 82). Emergeva in questo modo e per la prima volta all'interno del pensiero scientifico maturato nei secoli, il concetto di “falsificatore potenziale”: una teoria, per confermarsi “scientifica”, deve contenere dei falsificatori potenziali (in altri termini, deve poter essere potenzialmente smentibile), ed esiste proporzionalità fra la massa o l'affollamento di questi ultimi e la proprietà o caratteristica di “scientificità” della stessa. Per le analisi e le argomentazioni oramai celeberrime di Popper si rimanda al testo fondamentale appena citato (in particolare pp. 22 e 76).

⁷⁸ Per un approfondimento del concetto si rimanda, a R.V. MACRÌ, *I FLOP nella trattazione relativistica del tempo*, op. cit.

mento mentale o “Gedankenexperiment”, neutralizzando così ogni tentativo di addurre al neologismo la caratteristica di ridondanza. In altri termini, il FLOP è un “contro-esperimento” mentale, capace di invalidare, vanificare o confutare le tesi di partenza, laddove una teoria ripone fiducia e aspettative dal “Gedankenexperiment”, come in quella di Einstein.

Il FLOP è in fondo una risposta coerente e omogenea a «quell'approccio verificazionista che, adottato da Einstein al momento di creare la relatività ristretta... si sarebbe poi trasformato in oggetto di vera avversione dopo essere divenuto il motore filosofico della concezione irrealista e indeterministica alla base della nuova meccanica di Bohr, Born e Heisenberg»⁷⁹.

Addentrarsi in un “Gedankenexperiment” significa entrare in una folta landa di argomentazioni, di ragionamenti, di assunzioni implicite e a volte occulte (cioè mai emerse alla luce del sole, mai chiarite in modo definitivo), ma significa anche aspettarsi l'emersione di un FLOP da un momento all'altro. Si potrebbe parafrasare: «Chi di “Gedankenexperiment” ferisce, di FLOP perisce!», e non si tratta di un'esagerazione; se la validità di un concetto deriva dall'applicabilità di determinate operazioni, e queste dalla loro *pensabilità*, allora, in linea di principio, diventa consequenziale la possibilità teorica di una determinata operazione astratta o immaginaria che invalidi l'argomentazione adottata anteriormente, individuando, cioè, il FLOP celato. Il *singolo x* crea, e il *singolo y* distrugge. Basterebbe qui ricordare i titanici duelli “a colpi di *Gedankenexperiment*” tra Einstein e Bohr, i quali fecero epoca⁸⁰. In genere Einstein elaborava un certo esperimento mentale, convinto della sua coerenza intrinseca, mentre Bohr si divertiva a trovare il FLOP annida-

⁷⁹ M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo...*, op. cit., pp. 377-8. «Il verificazionismo sostiene che una proposizione qualsiasi è dotata di senso se e solo se è possibile indicare in linea di principio un metodo per verificarla. Esso adotta quindi un criterio di verità che è essenzialmente epistemico: la verità di una proposizione non trascende i mezzi cognitivi di cui disponiamo per asserirla. [...] La posizione opposta, quella cioè per cui una proposizione è vera o falsa indipendentemente dalle nostre capacità di stabilire quale dei due valori di verità le appartenga, è in genere denominata realismo. Una strategia verificazionista è all'origine [...] della critica allo spazio assoluto newtoniano [...]. La critica concettuale di Einstein, che all'epoca della formulazione della relatività ristretta era sotto l'influenza delle filosofie di David Hume e Ernst Mach, presupponeva dunque un punto di vista verificazionista: la verifica diretta della simultaneità tra due eventi può darsi solo quando gli eventi sono spazialmente quasi coincidenti» (G. BONIOLO e M. DORATO, *Dalla relatività galileiana alla relatività generale*, in G. BONIOLO (a cura di), *Filosofia della fisica*, Milano 1997, p. 48).

⁸⁰ Si protrassero per circa trenta anni e conobbero i loro momenti di più intensa teatralità durante le Conferenze Solvay del 1927, 1930 e 1933. Si veda uno dei capolavori di George Gamow, *Trent'anni che sconvolsero la fisica* (op. cit., pp. 115-7), per un esempio emblematico di quanto accennato.

to e a distruggere l'intera impalcatura einsteiniana con un contro-esempio. La filosofia del *Gedankenexperiment* inabissò l'intera metafisica della novella *teoria dei quanti*, fino a consolidarsi come piattaforma epistemologica della seconda rivoluzione scientifica. Una valutazione critica dimensionata sull'argomento appare tanto urgente quanto lacunosa nel panorama della moderna epistemologia, e tanto si potrebbe fare, come testimonia un'analisi di Popper «sull'uso e abuso degli esperimenti immaginari, specialmente nella teoria dei quanti»⁸¹.

In altri termini, nonostante il disconoscimento e l'opacità filosofica predominante dalla parte della comunità scientifica, la Relatività è costellata da connessioni e collegamenti filosofici, così come un neurone lo è dalle sinapsi, a tal punto che diventa giustificato qualificare Einstein come filosofo oltre che come scienziato⁸². Ed è proprio nella veste di filosofo che Einstein “mise mano” – ad esempio – alla *trattazione relativistica della simultaneità*: essa compare infatti all'inizio del saggio del 1905, prima ancora di aver scritto le trasformazioni di Lorentz e aver dato forma matematica alla teoria. L'esempio è lampante: uno dei cardini della fisica pre-relativistica, l'esistenza del tempo assoluto, viene demolita sulla base di principi logico-filosofici privi di formule matematiche. Diventa, altresì, legittimata (oltre che motivata) per il medesimo motivo l'azione indagatrice del filosofo che volesse attaccare (così come fece Bergson⁸³) col puro ragionamento le argomenta-

⁸¹ K.R. POPPER, *Logica della scoperta scientifica*, op. cit., p. 501. Si noti che a volte possono passare decenni prima che il FLOP annidato salti a galla: «Il FLOP più famoso è quello del teorema di J. von Neumann che “dimostrava” l'impossibilità di una riformulazione causale della meccanica quantistica. Formulato nel 1932, il teorema era matematicamente rigoroso, ma aveva una fondamentale debolezza di impostazione (insufficiente generalità degli assiomi) che ha dovuto aspettare le ricerche di Bohm e Bell (1966) per essere smascherata. Per più di trent'anni c'era una buca logica, ma nessuno se n'era accorto! E tuttavia il grande prestigio di von Neumann, aiutato dalle esplicite dichiarazioni di altri grandi personaggi, ottenne in pratica, per molto tempo, il risultato di proibire l'attività scientifica nella direzione della causalità e del realismo. Ecco dunque dei fattori extralogici al lavoro, in accordo con la tesi di Macrì. Quando Bohr, Heisenberg, Born e Pauli dichiaravano che il teorema di von Neumann rendeva impossibile un completamento causale della teoria dei quanti, andavano al di là di ciò che comprendevano razionalmente; altrimenti avrebbero visto i gravi limiti del teorema. Le loro affermazioni nascevano dalla convenienza e non da un processo logico ineccepibile. Oggi il teorema è superato e il re è nudo...» (F. SELLERI, *Introduzione*, in F. SELLERI (a cura di), *La natura del tempo*, op. cit., pp. 22-3).

⁸² Cfr. E. BELLONE, *Il maggior filosofo del Ventesimo secolo*, op. cit., p. 5.

⁸³ In effetti Henri Bergson, nel suo *Durata e simultaneità* del 1922 (H. BERGSON, *Durata e simultaneità (a proposito della teoria di Einstein) e altri testi sulla teoria della Relatività di Henri Bergson*, a cura di P. TARONI, Bologna 1997) attacca Einstein anche dal fronte del concetto di simultaneità, e non solo da quello del paradosso dei gemelli (sul quale Bergson, a sua volta, è contrattaccato dai relativisti). Per un approfondimento si rinvia al già citato R.V. MACRÌ, *Che cos'è il tempo? Bergson, Maritain, Dingle a confronto con Einstein*.

zioni di Einstein: ha il diritto e la possibilità di poterlo fare, nonostante l'“altolà” ingiustificato della “guardia matematica” di turno. E in effetti, nei primi decenni del secolo, ci fu una così grande serie di attacchi «dai filosofi... e ‘dimostrazioni’ di presunte fallacie logiche, a tal punto che nella sezione dedicata alla relatività del Congresso Internazionale di Filosofia tenutosi a Napoli nel 1924 il presidente, che era il matematico Jacques Hadamard, fece “accettare il principio secondo cui non doveva essere consentito di mettere in discussione alcun argomento di carattere puramente logico contro la relatività ristretta”»⁸⁴, principio che Ettore Majorana non digerì!⁸⁵

⁸⁴ M. MAMONE CAPRIA, *La crisi delle concezioni ordinarie di spazio e di tempo...*, op. cit., p. 364.

⁸⁵ «Il fatto che la Relatività Ristretta di Einstein sia... inattaccabile dal punto di vista matematico non giustifica che il grande matematico tedesco Hadamard, presiedendo la sezione Relatività del Congresso Filosofico di Napoli 1924, abbia fatto accettare il principio che qualunque argomentazione di carattere puramente logico contro la prima relatività einsteiniana non debba più venir neppure presa in considerazione e messa in discussione. Però anch'io non dovrei parlarne più, se non voglio dare le dimissioni da *fisico teorico*» (cit. in U. BARTOCCI, *La scomparsa di Ettore Majorana...*, op. cit., p. 90). L'atteggiamento di chiusura dogmatica di una teoria scientifica come la Relatività invita a considerazioni sociologiche oltre che epistemologiche. Se nei primi decenni del secolo un premio Nobel come Wolfgang Pauli riusciva a convincere i suoi studenti che «la cosiddetta relatività ristretta è oggi un capitolo chiuso» (cit. in W. HEISENBERG, *Fisica e oltre*, op. cit., p. 34), non si può dire che oggi la situazione sia molto migliorata se un fisico teorico come Tullio Regge arriva a dire che «la probabilità che un dubbio su tale teoria possa essere accolto è la stessa che avrebbe un dubbio sul sistema copernicano» (T. REGGE, *Relatività e cosmologia negli ultimi decenni*, in A.S. EDDINGTON, *Spazio, tempo e gravitazione*, op. cit., p. 254) o se un noto fisico sperimentale come Clifford Will ha potuto intitolare la sezione dedicata alla relatività ristretta in suo libro con la frase: “Senza l'ombra di un dubbio” (“Beyond the shadow of a doubt”), e cominciarla assicurando sobriamente il lettore che “è difficile immaginare la vita senza la relatività ristretta” (C. WILL, *Was Einstein Right?*, New York 1986). Herbert Dingle fa capire, dalle sue varie visite indagatrici alle università, come si sia vicino a una sorta di lavaggio di cervello: «Gli studenti sono stati educati, consciamente o inconsciamente, a credere che criticare la relatività ristretta sia un sicuro segno di ignoranza, per non dire di stupidità, da parte del critico» (H. DINGLE, *Science at the Crossroads*, op. cit., p. 114). Ci sembra che la mancanza di senso critico all'interno della teoria sia indice di quell'impoverimento filosofico già discusso, di quell'analfabetismo che ha reso ciechi quei “fanciullini” della scienza, tutti presi a “giocare” con ciclotroni e reattori. «La storia del successo della relatività, come l'abbiamo ricapitolata, con tutti i suoi equivoci, incertezze, e decisioni frettolose, deve costituire un monito nei confronti dei tentativi, troppe volte ripetuti, di dichiarare chiusa prematuramente la discussione nella scienza. Del resto, abbiamo ogni ragione di pensare che la trasformazione della sua teoria in dogma non sarebbe piaciuta ad Einstein, il quale era non meno pronto ad opporsi alle opinioni ricevute che consapevole dei limiti di ogni teoria. I biografi ci hanno parlato della sua disponibilità a entrare in dialogo anche con scienziati eccentrici o amatoriali. Acutamente uno di loro ha individuato in ciò un'importante differenza fra Einstein e i “normali” scienziati, che esibivano (ed esibiscono) un grande disprezzo nei confronti di quel tipo di interlocutori e che cercano in tal modo di dissimulare la propria incapacità di “confutare le ingegnose obiezioni fatte da dilettanti alle teorie scientifiche; Einstein, d'altra parte, non riguardava le differenze fra profani e professionisti come molto grandi”» (M. MAMONE CAPRIA, op. cit., p. 397). Pure Feuer ricorderà quella «ingenua indulgenza con cui Einstein concedeva attenzione a qualunque cosa dicesse chiunque» (L.S. FEUER, *Einstein e la sua generazione...*, op. cit., p. 36).

I punti deboli e *filosoficamente* trattabili sono molti nella teoria di Einstein, in particolare quando – seguendo l’invito del fisico Michele La Rosa – si «provi a spogliare la teoria di Einstein della ricca veste matematica ed a tradurre in linguaggio concreto, cioè in idee e concetti, i mirabolanti risultati nascosti nelle formule abbaglianti»⁸⁶. Se, però, proviamo ad isolare solo la classe “diretta” o “germinale” – cioè i “semi contaminati” presenti nel saggio del 1905 che in seguito avrebbero fruttificato in miriadi di incongruenze e paralogismi – possiamo restringere il campo alla *relativizzazione della simultaneità, la dilatazione del tempo* (insieme al cosiddetto *paradosso dei gemelli*), la “*simmetrizzazione*” delle trasformazioni di Lorentz⁸⁷: quanto basta per avere come conseguenze dirette la perdita dello spazio (e della sua struttura euclidea) e del tempo assoluto, la perdita dell’intuizione, del senso comune e un indebolimento fatale delle certezze⁸⁸, la perdita della continuità leibniziana⁸⁹, della causalità e del realismo, del libero

⁸⁶ M. LA ROSA, in A. KOPFF, *I fondamenti della relatività einsteiniana*, Milano 1923, pp. 351. Questo nostro illustre fisico ha più volte richiamato l’attenzione dei suoi colleghi circa «le spaventevoli demolizioni che la teoria [della relatività] ha largamente seminato nel campo dei concetti più generali» (ivi, p. 352), trovando una corrispondenza di vedute con la classe più colta e filosoficamente raffinata dei fisici italiani. Tra i più stimati ci piace ricordare: Augusto Righi, Carlo Somigliana, Cesare Burali Forti, Quirino Majorana (zio di Ettore Majorana), Michele Cantone. Col tempo però, quasi seguendo la linea di Max Planck quando afferma che gli oppositori prima o poi «muoiono e una nuova generazione si familiarizza con la nuova teoria sin dall’inizio», ai tentativi di confutazione si sostituirono quelli di assorbimento.

⁸⁷ È di quanto andremo a occuparci nel lavoro già citato *Che cos’è il tempo?*..., successivo e corollario a quello presente.

⁸⁸ «Le istanze epistemiche generali del pensiero fisico subirono trasformazioni profonde; cosicché, ad esempio, quelle nozioni oggettivistiche e metafisiche forti che furono le Verità, le Leggi e i Principi della Natura nel volgere di pochi decenni furono abbandonate e rimpiazzate da nozioni deboli, soggettivistiche e pragmatistiche, quali sono le rappresentazioni, le leggi e i modelli matematici copiosamente fioriti sul diramato albero della fisica teorica contemporanea» (R. NOBILI, *La cognizione dello spazio e il principio di dualità*, op. cit., p. 5). Sentenza Feynman: «Quali sono allora le influenze filosofiche della teoria della relatività? [...] La prima scoperta è essenzialmente che anche quelle idee che sono state mantenute per un lunghissimo periodo e che sono state accuratamente verificate, possono essere sbagliate. [...] Ora abbiamo un punto di vista molto più umile...: tutto può essere sbagliato!» (R.P. FEYNMAN, *La fisica di Feynman*, vol. 1, Bologna 2001, cap. 16, p. 3). Invertendo, il risultato non cambia: «Dio sa se ciò che oggi appare del tutto assurdo diventerà domani una verità controllata» (A.N. WHITEHEAD, *La scienza e il mondo moderno*, Milano 1945, p. 138). Debolismo che a poco a poco prenderà sempre più piede, fino ad arrivare all’apice di quella che Jacques Maritain denomina con l’espressione *cronolatria epistemologica*: «Che cosa impedisce di pensare che anche gli altri peccati, che noi ancora crediamo tali, siano destinati un giorno a svelarsi nella stessa luce [cioè transeunti e apparenti]?» (G. VATTIMO, *Credere di credere*, Milano 1999, p. 91). Per un approfondimento sulla tematica dell’*indebolimento* causato dalle nuove teorie a partire dalla relatività si veda R.V. MACRÌ, *Relativismo e pensiero debole: la perdita del fondamento*, «Episteme», n.1, 2000.

⁸⁹ Dal trattamento dei moti circolari e “quasi-inerziali” (cfr. F. SELLERI, *On the existence of a physical and mathematical discontinuity in relativistic theory*, in *Open*

arbitrio⁹⁰, la tendenza all’*iperspazio* (spazi a n dimensioni, recentemente si è arrivati a 950 dimensioni⁹¹) e all’astrazione (astrusità) matematica (fino a farla diventare «forza razionalizzatrice diretta»⁹²), al relativismo, alla metafisica verificazionista (operazionista, neoempirista)⁹³ e ai cosiddetti *viaggi nel tempo*⁹⁴. Se l’albero si vede dai frutti...

Perugia

ROCCO VITTORIO MACRÌ

Questions in Relativistic Physics, op. cit.; e anche, dello stesso autore, *Space and Time are better than Spacetime*, (I e II), op. cit.) fino alla perdita della *corrispondenza micro-macro cosmo*, specchio di quel “procedimento analogico” che verrà definitivamente abbattuto con le nuove teorie post-einsteiniane (cfr., di chi crive, *La detronizzazione della metafisica...*, op. cit., pp. 464 sgg.).

⁹⁰ Causalità, realismo, libero arbitrio... Si rimanda al già citato *Che cos’è il tempo?*...

⁹¹ Cfr. F. SELLERI, *Fondamenti della fisica moderna*, Milano 1992, p. 67.

⁹² Ivi, p. 62.

⁹³ In breve, la metafisica verificazionista dichiara che senza oggetti non c’è spazio, senza moto non c’è tempo. Non desta meraviglia, allora, la perplessità di schiere di filosofi che vedono la messa in crisi delle categorie “a priori”, o meglio, *ontologicamente primarie* dello spazio e del tempo. Se spazio e tempo non fossero altro che puri derivati della materia in quanto nessi relazionali di questa, dovrebbe essere possibile dedurre le loro proprietà da quelle della materia: ma questo si è dimostrato impossibile; è, anzi, vero il contrario: non può costruirsi alcuna fisica senza degli opportuni modelli matematici di spazio e tempo che esprimano parametricamente il divenire delle cose. Cosa nasconde, dunque, il velo del verificazionismo?: «Il tempo è soltanto ciò che viene misurato in un certo modo da strumenti che per comune accordo i fisici chiamano “orologi”, secondo procedure molto ben definite, e similmente per lo spazio in ordine alle misure di lunghezze. La nuova teoria guadagnò così il consenso dei fisici sperimentali, che videro le regole di misura inserite alla base stessa della fisica; dei matematici... che apprezzarono il fatto che la matematica “superiore” da essi astrattamente elaborata (spazi a n dimensioni, etc.) fosse utilizzata in modo essenziale nella formulazione di una teoria fisica; ma soprattutto ad essa fecero eco tutti coloro che furono lieti di veder così crollare, come non più adeguate alla realtà naturale, le categorie ordinarie (o del senso comune) dello spazio e del tempo, che pure avevano tanto ben servito gli essere umani per tutto il periodo precedente Einstein e i suoi esperimenti mentali –, così come che molti furono lieti di veder crollare dopo Darwin la fin allora pretesa centralista dell’essere umano, con il conseguente suo inserimento nel regno animale» (U. BARTOCCI, *Albert Einstein...*, op. cit., pp. 37-8).

⁹⁴ Le nuove frontiere della scienza “post-einsteiniana”, dopo il trattamento che Gödel fa delle teorie di Einstein, ci invitano ai cosiddetti “viaggi nel tempo”: potremo viaggiare nel futuro (cfr. P. DAVIES, *Come costruire una macchina del tempo*, Milano 2003) e nel passato, «a ritroso in un universo parallelo e là uccidere i nostri genitori prima che ci concepiscano» (J. BARBOUR, *La fine del tempo. La rivoluzione fisica prossima ventura*, Torino 2003, p. 335). Per un esame più approfondito di questo nuovo “fantamondo” – frutto della Relatività e della Meccanica Quantistica – si rimanda al già citato *Che cos’è il tempo?*...