



● **Compito supremo dello scienziato è di pervenire a quelle leggi elementari universali partendo dalle quali il cosmo può essere costruito con la pura deduzione. Lo conduce l'intuizione, e il suo sforzo quotidiano scaturisce direttamente dal cuore**

● **Il Signore potrebbe riderci sopra e menarmi per il naso**

● **Non ho particolari talenti, sono soltanto appassionatamente curioso**

● **Non ho mai tratto insegnamenti morali dal mio lavoro scientifico**

● **Con la fama divenuto sempre più stupido, un fenomeno che è, ovviamente, molto comune**

● **Per punirmi del mio disprezzo per l'autorità, il destino ha fatto di me un'autorità!**

● **L'intera scienza non è niente di più che un perfezionamento del pensiero quotidiano**

● **Ancor più degli europei, gli americani vivono per i propri obiettivi, sono proiettati nel futuro. Per loro la vita è sempre in divenire, mai in essere. Sono meno individualisti degli europei, mettono l'accento più sul "noi" che sull'"io"**

● **Il declino intellettuale prodotto dal vuoto materialismo è un pericolo ben più grave per la sopravvivenza degli ebrei dei tanti nemici che dall'esterno li minacciano con la violenza**

● **Ci ho ripensato. Forse il Signore è malizioso**

● **Il vero valore di un uomo è determinato soprattutto dal modo in cui è giunto a liberarsi dell'io**

● **Il mio pacifismo è un sentimento istintivo; il pensiero di uccidere un altro essere umano mi inorridisce. Questa posizione non è il risultato di una teoria, ma è generata da una profonda antipatia per ogni forma di crudeltà e di odio**

● **Sono sopravvissuto a due guerre mondiali, a due mogli, e a Hitler**

● **La più bella e profonda emozione che possiamo provare è il senso del mistero. Sta qui il seme di ogni arte, di ogni vera scienza.**

*L'uomo per il quale non è più familiare il sentimento del mistero, che ha perso la facoltà di meravigliarsi e di umiliarsi davanti alla creazione è come un uomo morto*  
**Albert Einstein**

# EINSTEIN Non tutto è relativo

**Cent'anni fa, quello che allora era un oscuro impiegato dell'Ufficio brevetti di Berna, non essendo stato accettato come assistente da alcuna università, si rivelò al mondo della scienza, all'età di 26 anni, pubblicando in pochi mesi quattro articoli ognuno dei quali avrebbe meritato un premio Nobel. Misurare il contributo dello scienziato ebreo mettendo in fila le sue eccezionali scoperte, però, è riduttivo. Sono i concetti stessi di spazio, tempo, forza, realtà, cosmo ad aver acquistato un significato completamente nuovo dopo di lui**

**U**n secolo fa Albert Einstein - allora oscuro impiegato in un Ufficio brevetti di Berna, non essendo stato accettato come assistente da alcuna università - si rivelava al mondo della scienza all'età di 26 anni, pubblicando e in un solo anno quattro articoli ognuno dei quali avrebbe meritato un premio Nobel. Il primo di essi uscì il 17 marzo 1905.

Per comprendere quanto innovatrice fu l'opera di Einstein bisogna ricordare che all'inizio del XX secolo moltissimi scienziati non credevano ancora alla reale esistenza di atomi e molecole. Einstein allora, nel 1904, si propose di individuare un fenomeno che potesse mostrare in modo sperimentale e chiaro la loro esistenza e nel contempo fornire indicazioni sulle loro dimensioni. Scopri che un corpuscolo sufficientemente minuscolo (ma pur sempre visibile al microscopio) immerso in un liquido avrebbe dovuto apparire soggetto a un caratteristico moto "a zig-zag" a causa dell'agitazione termica delle molecole. Einstein non sapeva che tale fenomeno - il "moto browniano" - fosse già stato osservato sperimentalmente; egli però ne fornì la spiegazione teorica e l'interpretazione dettagliata, e ciò permise tra l'altro di valutare le dimensioni delle molecole. Uno degli articoli scritti in quel *mirabilis* 1905 gli procurerà effettivamente (soltanto nel 1922 però) un premio Nobel; ed esso non si riferisce ai suoi studi sulla teoria della Relatività speciale: dopo tanti anni l'Accademia ancora non si fidava dei suoi contributi più rivoluzionari.

Einstein riprese l'ipotesi quantistica di Planck - formulata nel 1900 ma rimasta senza molto seguito in quei cinque anni perché nessuno, nemmeno Planck, aveva avuto il coraggio di accettarla davvero - dimostrando che la luce è costituita da "granuli": i fotoni. E così mise in moto l'edificazione della Meccanica quantistica, alla quale avrebbe fornito contributi decisivi anche molto più avanti. Nel 1924, ad esempio, Louis de Broglie propose nella sua tesi di dottorato l'idea che tanto la luce quanto le particelle di materia siano costituite da corpuscoli accompagnati e guidati da onde: un'ipotesi che pareva folle sotto diversi aspetti. Einstein, con la sua solita spregiudicatezza, parlò favorevolmente della tesi di de Broglie in un suo articolo. In seguito a questa autorevole citazione Schrödinger ebbe il coraggio di prendere sul serio quella relazione e arrivò a scrivere la sua notevolissima equazione che sta a fondamento di tutta la Meccanica quantistica propriamente detta.

Einstein contribuì dunque in maniera sostanziale alla costruzione di questa nuova branca della fisica, ma in seguito la considerò solo come un prodotto intermedio e incompleto, allontanandosi (forse a ragione) dalla stragrande maggioranza degli altri fisici. Anzi, mise addirittura in crisi i fondamentali interpretativi della nuova meccanica con la scoperta del "paradosso Epr", che ha stimolato delicati esperimenti. I più importanti dei quali sono quelli progettati da un italiano, V. Rapisarda di Catania, e concretamente realizzati da A. Aspetti a Parigi. I risultati possono sembrare fantascientifici: un articolo di Aspetti si concludeva con un *aut-aut*: o si rinuncia a un'interpretazione realistica dei fenomeni quantistici, oppure si deve ammettere che all'interno dei sistemi quantistici esistono contatti a velocità maggiori di quella della luce. Secondo alcuni, ciò significherebbe che il programma di Einstein di "completare" e interpretare realisticamente i fenomeni quantistici possa essere realizzato al prezzo di estendere la Relatività speciale così da includere anche i moti super-luminati. Uno degli eterni dilemmi della scienza sta nella scelta tra una descrizione continua e una descrizione discreta della natura fisica. Einstein, pur avendo tanto contribuito alla nascita della Meccanica quantistica (che si rifà a una concezione discreta della materia), optò decisamente per il continuo, avvicinandosi con le sue teorie relativistiche (soprattutto la Relatività generale) più ad Anassagora e agli Stoici che non agli antichi Atomisti e agli Epicurei.

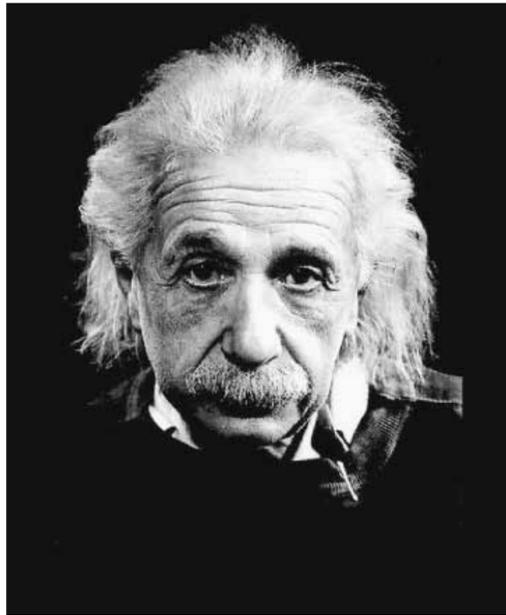
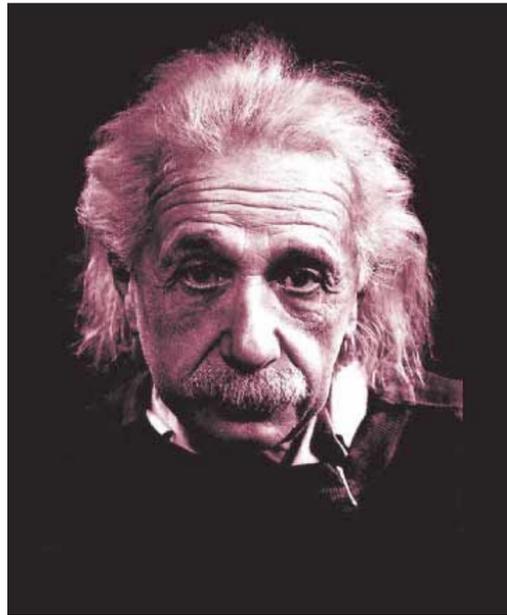
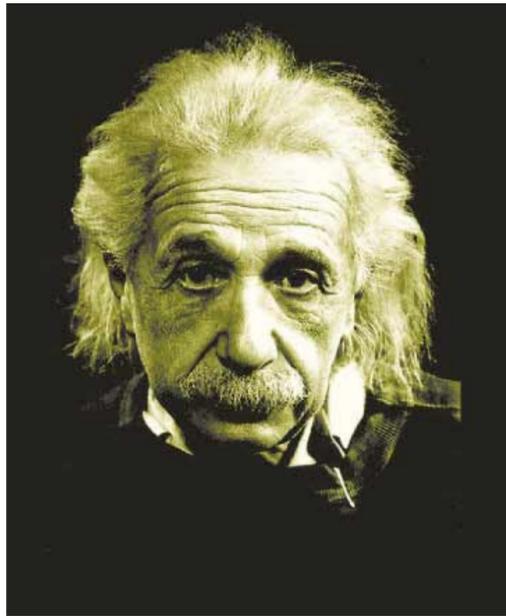
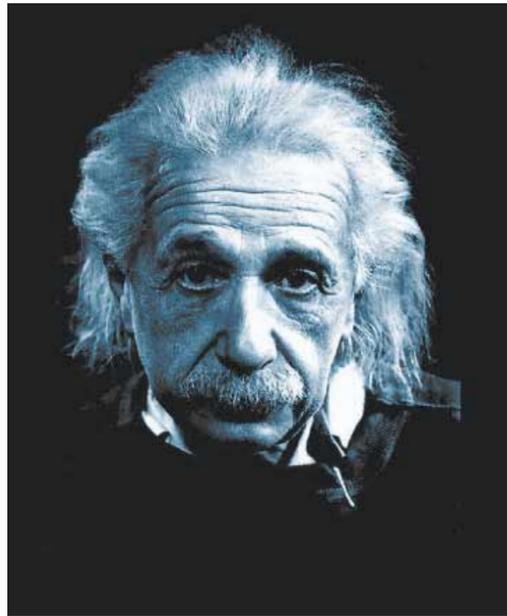
Anche gli articoli di esordio sulla Relatività speciale furono pubblicati nel 1905. Già prima di Einstein, i fisici avevano cominciato ad accorgersi che le misure della distanza spaziale e della distanza temporale tra due eventi erano probabilmente non assolute ma relative all'osservatore. Dalla Relatività speciale si deduce subito, però, che è assoluta la distanza spazio-temporale, quadridimensionale, tra i due eventi. La Relatività speciale quindi ci insegna a costruire quantità assolute a partire da quantità relative: essa avrebbe dunque ben potuto chiamarsi "Teoria della Assolutezza" - e chissà quanto diverse sarebbero state le reazioni di tanti letterati o filosofi o artisti solo orecchianti! Nel 1908, a Colonia, Minkowski poté dichiarare di conseguenza: "D'ora in poi lo spazio di per sé e il tempo di per sé sono destinati ad affondare completamente nell'ombra, e soltanto lo spazio-tempo, una sorta di unione di entrambi, può conservare un'esistenza indipendente".

Come arrivò, Einstein, a tale risultato? L'ha narrato lui stesso, fin dal 1922, in Giappone, ma il testo approssimativo della sua conferenza è divenuto noto ai di fuori di quel paese solo in anni a noi non lontani. Giunto a conoscenza degli esperimenti che mostravano che la velocità *c* della luce nel vuoto è la medesima per tutti gli osservatori inerziali, si era chiesto invano per quasi un anno come ciò potesse accadere, contro le leggi della fisica classica. Queste sue parole sono raramente apparse in traduzione italiana: "Per caso mi aiutò a venire fuori il mio amico italiano di Berna, Michele Besso. Era una bellissima giornata quando gli feci visita con questo problema in mente. Inizialmente la conversazione dicendogli subito: "Di questi tempi ho lavorato su di un problema difficile. Oggi sono venuto qui per combattere contro di esso assieme a te". Discutemmo insieme ogni aspetto del problema. Improvvisamente io compresi quale ne fosse la chiave. Il giorno seguente tornai e, senza neppure salutarlo, gli dissi: "Grazie. Ho completamente risolto il problema". La mia soluzione era stata un'analisi del concetto di tempo...".

La conseguenza più clamorosa di questa nuova prospettiva è messa in evidenza dal cosiddetto "paradosso dei due gemelli". Questo effetto, per quanto insolito, è stato verificato innumerevoli volte, anche imbarcando degli orologi su un aereo e confrontandoli alla fine del viaggio con altri identici rimasti a terra. Gli orologi viaggiatori sono risultati più "giovani" (segnano un tempo inferiore) dei loro "gemelli" sedentari, e proprio nella misura prevista da Einstein. Possiamo quindi essere sicuri che, il giorno in cui faremo un viaggio di andata e ritorno fino alla stella più vicina con una velocità, diciamo, pari a tre quarti di quella della luce, al ritorno troveremo i nostri parenti e amici invecchiati 4 anni più di noi: per i "terrestri" saranno infatti passati 12 anni, per noi neanche 8.

E riguardo alla velocità della luce cosa si può dire oggi? Essa gioca un ruolo tanto importante perché non dipende dal moto dell'osservatore: possiamo correre incontro alle particelle di luce, o fuggire da esse con qualsiasi velocità; nel vuoto le vedremo sempre viaggiare con la medesima velocità *c*. Essa possiede anche il carattere di essere invalicabile, così come l'Himalaya può ritenersi tale. L'idea comune è che, quindi, non esistano oggetti più veloci della luce. Ma il fatto che gli indiani non possano attraversare l'Himalaya non vuol dire che non possano esistere i Cinesi, esseri cioè che nascono vivono e muoiono al di là dell'immensa catena montuosa senza aver mai avuto bisogno di attraversarla. Se uno accetta l'idea che possono esistere i "tachioni" - come vengono chiamati i supposti oggetti più veloci della luce -, ovvero allarga lo schema della Relatività, arriva a comprendere meglio vari aspetti della fisica comune, come la connessione tra materia e anti-materia. Ma si incontrano anche dei fatti nuovi e pertanto strani, anche se mai in contrasto con i postulati della Relatività speciale. Da una dozzina d'anni sono stati costruiti matematicamente, e poi realizzati concretamente, degli impulsi che hanno proprio velocità super-luminale e interessantissime proprietà, alcune delle quali già coperte da vari brevetti. Possono essere formati da onde elettromagnetiche (ad esempio luminose) o acustiche (nel qual caso hanno velocità super-soniche). Impulsi acustici di questo tipo hanno già applicazioni mediche: presso l'americana Toledo University hanno consentito di progettare macchine per ecografie che forniscono direttamente e con alta risoluzione immagini tridimensionali di organi in movimento quali il cuore.

**Erasmo Recami**  
*Università di Bergamo*



## È stato frainteso: le sue "teorie" sono molto concrete

**I**l 1905 è il terzo anno nella storia della fisica che si è meritato la denominazione di *annus mirabilis*: il primo essendo quell'anno scorso, fra il 1665 e il 1666, trascorso dal ventitreenne Newton nella quiete del suo villaggio natalo, durante il quale egli pose le basi del calcolo infinitesimale, della teoria dei colori e della gravitazione universale; e il secondo quel 1932 che assistette alla scoperta del neutrone, del deuterio e del positrone e all'annuncio del funzionamento del primo ciclotrone. A proclamare anche il 1905 anno memorabile è stato John Stachel, forse il massimo conoscitore al mondo dell'opera einsteiniana, quando, nel 1998, ha curato e prefato una riedizione degli articoli einsteiniani qui ricordati.

Stachel ha sottolineato come, di quegli articoli, tre non hanno a che fare con la relatività, e riguardano piuttosto la struttura atomica della materia e, uno di essi in modo marcato, la fisica quantistica. Sarebbe quasi ora, a distanza di un secolo, che l'associazione Einstein-Teoria della relatività venisse sciolta, e per un insieme di buone ragioni. La prima, che sarebbe già sufficiente di per sé, è che è impropria, in quanto la pluralità di interessi già palesata da Einstein negli articoli del 1905 continuo a manifestarsi negli anni suc-

cessivi. La seconda è che quell'espressione apparentemente innocua - Teoria della relatività - si è dimostrata capace di poter produrre una molteplicità di guasti: ha fatto sì che generazioni di studenti liceali abbiano lasciato la scuola secondaria con la convinzione che accanto al corpo collaudato della conoscenza fisica resti qualcosa di anomalo, di controvertoso, di teorico, secondo l'accezione comune del termine "teoria" come esemplificata nella frase "non è che una teoria"; e ha fatto sì che si continui a pensare che si tratti di una teoria filosofica, cosa già di per sé assolutamente fuorviante, quando non addirittura che essa abbia aperto la strada al relativismo filosofico.

Sarà il caso di ricordare, al proposito, che gli effetti relativistici sono stati confermati in innumerevoli esperimenti, i cui risultati sono patrimonio acquisito della fisica contemporanea.

**Silvio Bergia**  
*Università di Bologna*

## Ha influenzato la filosofia e non solo la scienza

**L**a pubblicazione nel 1905 dei mirabili cinque articoli di Albert Einstein - qui ci riferiamo soprattutto ai due suoi lavori che hanno dato avvio alle Teorie relativistiche - ha tanto aperto gli occhi dell'umanità sulla natura del mondo che ci circonda che ora sono alla nostra portata scientifica domande prima impensabili.

Ad esempio: il tempo ha solo una dimensione? E sono proprio tre le dimensioni dello spazio? Quante dimensioni spaziali e temporali può avere il mondo in cui viviamo? Il nostro spazio, per la presenza di materia si deforma acquistando una curvatura e magari anche una torsione? E ancora: quali sono le proprietà dello spazio, cioè del vuoto - che una volta si chiamava "etere"? Che caratteristiche ha lo spazio all'interno di una particella elementare? Queste infine porzioni di materia sono a loro volta dei minuscoli mondi, dei micro-universi? Sono domande che sfiorano antichi territori del pensiero umano, ma ad esse la ricerca contemporanea sta tentando di rispondere sul piano concreto, pur sotto il velo del formalismo fisico-matematico imposto dal "pudore scientifico".

Ma Einstein ha rivoluzionato il nostro modo di fare e di vedere la scienza e il mondo naturale, ancor più dal punto di vista filosofico.

L'attività scientifica presenta nei millenni forti caratteri di continuità: essa non è nettamente separabile dalle altre attività dell'uomo, è pur sempre una creazione del suo spirito: potremmo parlare, anzi, di una "libera creazione", nello stesso senso in cui sono libere le arti o le matematiche. Einstein stesso dichiarava infatti nel 1933: "I postulati e i concetti fondamentali sui quali si basa la fisica teorica sono libere invenzioni dell'intelletto (...), e costituiscono la parte essenziale di una teoria, la parte che la logica non può toccare". La scienza si viene sviluppando con caratteristiche proprie, soprattutto di metodo, ma richiede pure doti di intuizione, fantasia, senso estetico che sono comuni ad altre attività umane.

Al pari degli altri settori della cultura, essa si è continuamente sviluppata durante l'evoluzione della nostra specie. Semmai si può dire che, soprattutto dal '600 in qua (anche per la diffusione della stampa) ha assunto con evidenza il proprio carattere di sapere fondato sulla cooperazione di molti. Ciò era stato già ben compreso da Seneca, il quale, dopo aver discusso delle comete, concluse con queste nobili parole: "Accontentiamoci di ciò che abbiamo finora scoperto. Quelli che verranno dopo di noi aggiungeranno il loro contributo alla verità".

Anche Einstein non considerò affatto le proprie equazioni della Relatività generale come l'ultima parola, dichiarando esplicitamente che erano conquiste effimere, destinate a essere superate. Scrisse infatti in una lettera: "Tu immagini che io guardi indietro alla mia vita con calma soddisfazione. Ma non c'è un singolo concetto della cui incrollabilità io sia convinto, e non so se in generale sono sulla strada giusta".

E' noto che il pensiero scientifico procede per successivi approssimazioni, e che la teoria nuova contiene la vecchia come caso particolare. La Relatività speciale, così, si riduce alla precedente meccanica di Galilei e di Newton quando le velocità in gioco sono molto più piccole della velocità della luce. Ed essa stessa prima o poi lascerà certamente il posto a una teoria più ampia, che la conterrà come caso particolare.

Diamo dunque uno sguardo a ciò che bolle nella pentola della ricerca contemporanea e che potrà condurre a novità importanti. È possibile che esse siano per esplodere proprio nella direzione mostrata da Einstein, che è stata però sottovalutata finora dalla gran parte dei fisici. Einstein ci ha ricordato che fare scienza non vuole certo dire redigere un catalogo di fatti (anche se questo può essere un necessario passo preliminare) bensì capirli, scoprendo ciò che resta costante nel loro manifestarsi. Sempre sottolineò il pericolo che conoscere troppi fatti si rivelasse un ottimo metodo per perdersi in mezzo ad essi. La scienza, invece, tende a collocare i fenomeni in strutture ordinate, così da poterli descrivere in una maniera infinitamente più elegante, logica e compatta che non attraverso un elenco. A tale scopo le deboli forze del procedimento induttivo non servono a molto. Einstein lo ha spiegato bene nelle sue *Note autobiografiche*: "Una teoria può essere verificata dall'esperienza, ma non esiste alcun modo per risalire dall'esperienza alla costruzione di una teoria".

Con il suo stesso esempio, Einstein ci ha anche ricordato che la scienza per rinnovarsi ha bisogno della novità delle idee dei giovani. Paolo Strane, anni addietro professore emerito all'Università di Genova, mi ha testimoniato che il fisico tedesco già a 17 anni gli espose chiaramente, passeggiando sulla riva del lago di Zurigo, la problematica la cui soluzione lo avrebbe portato otto anni dopo, nel 1905, a formulare la Relatività speciale. La scuola tende a volte a inquadrate troppo la mente dei giovani entro forme preconfezionate. Einstein ebbe la fortuna di possedere fortissimo l'istinto di proteggere l'originalità delle sue intuizioni. In



seconda ginnasio, anzi, troncò gli studi scolastici per un anno, e raggiunse la famiglia a Milano, vagabondando - sembra addirittura a piedi - fino a Genova, dove aveva dei parenti. Riprese poi gli studi, ma in Svizzera. Dei quattro anni all'ottimo Politecnico di Zurigo ha lasciato scritto: "Per superare gli esami, volenti o nolenti, bisognava imbottirsi la mente di tutte queste nozioni (...). Una simile coercizione ebbe su di me un effetto così scoraggiante che, dopo aver superato l'esame finale, per un anno intero mi ripugno prendere in considerazione qualsiasi problema scientifico". Senza questo suo sospetto per le "autorità costituite" forse non avrebbe potuto mantenere intatta quella sua formidabile indipendenza di giudizio che gli diede il coraggio (perché di questo si tratta) di contraddire alcune delle più diffuse scuole scientifiche del suo tempo.

In terzo luogo, Einstein ci ha ricordato che uno dei "motori" dello scienziato è la fede nell'unità razionale del mondo, che almeno in parte è percepibile dalla nostra mente. Tra parentesi, la scienza cosiddetta moderna è nata, o rinata, in Europa forse perché qui il terreno fu in parte preparato dagli studi medievali della Patristica e della Scolastica, ispirati alla concezione di un Dio unico. Per giudicare una teoria, Einstein spesso si domandava se - qualora lui fosse stato Dio - avrebbe creato il Cosmo in quel determinato modo. È noto anche come, nel rifiutare la visione probabilistico-quantistica dei fenomeni microscopici, abbia più volte dichiarato di non credere che "Dio giocasse ai dadi".

Completiamo questo quadro ricordando che Einstein sottolineò nettamente anche il ruolo del *background* filosofico, e che chiari sono il comportamento del ricercatore non sia riconducibile ad alcun modello epistemologico prefissato: "È inevitabile che lo scienziato appaia all'epistemologo sistematico come una specie di opportunista senza scrupoli: che gli appaia un realista per certi aspetti di descrivere il mondo indipendentemente dagli atti di percezione: come un idealista poiché considera i concetti e le teorie come libere invenzioni dello spirito umano (non deducibili logicamente dal dato empirico): come un positivista poiché ritiene che i suoi concetti e le sue teorie siano giustificati soltanto in quanto forniscono una rappresentazione logica delle relazioni fra esperienze sensoriali. Può addirittura sembrargli un platonico o un pitagorico in quanto considera il criterio della semplicità logica come strumento indispensabile ed efficace per la sua ricerca".

Infine, cosa non meno importante, Einstein ci ha ricordato che i concetti e le categorie sono necessari al pensiero, ma che sono il prodotto dell'evoluzione biologica del nostro sistema nervoso centrale, e quindi variano al variare della nostra esperienza evolutiva. Ciò vale anche per categorie come quelle di spazio e di tempo: il credere a "giudizi sintetici a priori" - cosa più che giustificata all'epoca di Kant - sarebbe oggi una ingenuità. Anzi, quando gli uomini vivranno in contatto quotidiano con velocità prossime a quella della luce essi "vedranno" in modo diretto o intuitivo - quale nuova categoria kantiana - lo spazio-tempo quadridimensionale descritto dalla Relatività speciale.

E non dobbiamo affatto ritenere che senza Einstein la fisica prima o poi si sarebbe sviluppata allo stesso modo. Come diceva Piero Caldirola, così come non ci sono due pittori che rappresentano una Madonna allo stesso modo, analogamente fisici diversi da Einstein avrebbero costruito la teoria della gravitazione in modo sicuramente molto differente. Analogamente "se Mach avesse avuto migliore padronanza della fisica-matematica - come ha scritto B. Bertotti - l'evoluzione della fisica avrebbe avuto un corso assai diverso".

**Er. Re.**