### Cento anni fa nasceva Albert Einstein il grande teorico della relatività

trovato la sola via che, ai tuoi tempi, fosse possibile per un uomo di altissimo intelletto e potere creativo. I concetti che tu hai creato guidano ancora oggi il nostro pensiero nel campo della fisica, anche se ora noi sappiamo che dovranno essere sostituiti con altri assai più discosti dalla sfera dell'esperienza immediata, se si vorrà raggiungere una conoscenza più approfondita dei rapporti tra le

Queste parole furono scritte da Albert Einstein all'età di 67 anni. In esse si riassume il senso di quella seconda rivoluzione scientifica di cui il linguaggio quotidiano e tanta parte del pensiero filosofico non hanno ancora avvertito i segni, anche se lo stesso senso comune e la riflessione sulla scienza hanno da tempo trasformato Einstein in una specie di mito o di figura emblematica della ragione umana contemporanea.

Se si stesse qui discutendo di Einstein come mito, allora si potrebbe seguire una via facile. Si potrebbe ad esempio parlare del genio che interviene con le sue luci all'interno di una crisi del pensiero scientifico e spezza la crisi con alcune intuizioni originali. In realtà, tutto fu molto più difficile. Le prime ricerche di Einstein non si muovevano all'interno di una crisi, ma entro una ristrutturazione dell'intero campo del sapere sul mondo, una ristrutturazione che stava sviluppandosi da

Alle spalle di Einstein, insomma, non c'era un sapere ormai perduto nel buio di quelancora oggi molti amano favoleggiare: c'era, al contrario, una potente tradizione teorica, che, durante l'Ottocento, aveva saputo costruire la meccanica analitica, la spiegazione statistica dei fenomeni dovuti a grandi numeri di atomi e di molecole, la trattazione matematica dell'elettricità, del magnetismo e dell'ottica, la ricerca sperimentale sulla radiazione e su-

Questa tradizione teorica, tuttavia, era difficile da coaliere come un tutto. Se si vuole capire perché uno studioso come Witkowski, dopo aver letto la memoria di Einstein del 1905 sulla relatività, affermò che la fisica aveva trovato un altro Copernico, occorre tenere presente che quella memoria apriva la strada per generalizzazioni matematiche che potevano permettere di ricostruire. entro un nuovo quadro teorico unitario, le diverse forme allora disponibili di spiegazione dei jenomeni naturali. La ricostruzione che si pro-

E' molto raro che i non ad-

detti ai lavori sappiano il mo-

tivo specifico per cui ad un

fisico viene assegnato il pre-

mio Nobel, però quasi tutti

sono convinti che ad Einstein

nel 1922 il premio Nobel sia

stato dato per la teoria della

relatività; invece il premio gli

fu dato « per la legge fotoelet-

trica ed i suoi lavori nel cam-

po della fisica teorica ». Ep-

pure già nel 1905 Einstein con

due brevi note, complessiva-

mente di una trentina di pagi-

ne, aveva sconvolto le nostre

nozioni di spazio. di tempo e

la meccanica newtoniana e-

nunciando la relatività « ri-

stretta > o « speciale >, e nel

1916 aveva posto le basi della

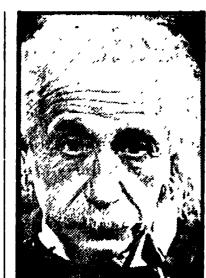
moderna cosmologia genera-

lizzando la relatività ristretta

Valori

assoluti

nella relatività generale.



Tra il 1905 e il 1921 prende corpo una rivoluzione che investe 😂 🤧 l'intero campo del sapere e di cui non sono state tratte tutte le conseguenze - Sul solco di una tradizione di studi rappresentata da Faraday, Maxwell, Boltzmann, Lorentz, Poincaré - Diffidenze e incomprensioni - L'esilio americano dopo l'avvento del nazismo e la battaglia per l'uso pacifico delle scoperte scientifiche

## Le equazioni che sconvolsero l'immagine del mondo

spettava con il lavoro di Ein- | fermava l'invariabilità della | « La natura è costituita in mostein aveva naturalmente dei prezzi molto alti. In particolare, essa implicava la critica e la riformulazione di conla crisi del razionale di cui cetti apparentemente ovvii. come quello di contemporaneità, oppure di nozioni illustri, come quelle di spazio e di tempo. Il che, a sua volta, metteva in evidenza il bisogno di astrazioni più potenti, che si allontanavano dalle intuizioni del senso comune, dalla sfera delle esperienze immediate di ogni uomo e dalle categorie tradizionali di spazio e tempo che erano state elaborate dalla filosofia speculativa. Il punto di partenza, per Einstein, non fu un esperimento cruciale o una riflessione filosofica su spazio e tempo. ma la constatazione teorica dell'esistenza di mancanze di simmetria in determinati settori della fisica matematica. Il tentativo di eliminare quelle asimmetrie ebbe un esito sorprendente, poiché rivelava la necessità di trasformare le usuali considerazioni su con-

temporaneità, spazio e tem-

po: una necessità che deriva-

va dalla accettazione di due

principi fisici, l'uno dei qua-

li si rifaceva alla relatività

galileiana, mentre l'altro af- l

velocità della luce.

L'accettazione di tali principi portava appunto a conseguenze inaspettate ma inevitabili, che si cominciarono a cogliere nel dibattito scientifico solo a partire dal 1908. e cioè dopo che il grandissimo Hermann Minkowski seppe rielaborare in forme ancora più astratte i risultati ottenuti da Einstein.

Il periodo propriamente ri voluzionario delle ricerche di Einstein è compreso tra il 1905 e il 1921. Ora, se per un verso è qui impossibile descrivere i nodi fisici di quella rivoluzione, per l'altro verso è altrettanto impossibile riassumere in poche righe sia le successive indagini sulla relatività generale, sia i filoni principali del dibattito filosofico sulle scienze di cui Einstein fu protagonista. . . . . .

Per quanto riguarda la filosofia personale di Einstein, mi pare che essa possa essere schematizzata unendo il brano iniziale di questo articolo e una tesi generale relativa a ciò che egli intendeva dire parlando di « semplicità, cioè intelligibilità, della natura »: I strada della ragione — giudi-

do tale che è possibile logicamente stabilire leggi fortemente determinate, nell'ambito delle quali si presentino solo costanti definite in modo com-. pletamente razionale». Da questo punto di vista, sostenascono dall'esperienza: « Una teoria può essere verificata dall'esperienza, ma non esiste alcun modo per risalire dall'esperienza alla costruzione

di una teoria ». La conoscenza più approfondita dei rapporti tra le cose, insomma, è il risultato progressivo della ragione matematizzata: ed è conoscenza oggettiva del mondo reale. Non è allora difficile coalie-

re una analogia tra Einstein Galilei. Entrambi vollero edificare un sapere astratto che violava il senso comune e metteva a tacere le regole assolute di una metafisica influente. Ed è allora giusto <del>r</del>icordare che la metafisica più sottile del nostro secolo — e cioè quella di Pierre Duhem, che utilizzava la filosofia della scienza per importe alla scienza stessa le norme logiche e assolute della buona

che Einstein e altri scienziati la filosofia della scienza di Pierre Duhem sosteneva che storicamente data. la nuova fisica è « una corsa sfrenata e disordinata all'inseguimento dell'idea nuova », un qualcosa che cha sbaragliato il campo delle teorie fisiche e ne ha fatto un vero

caos dove la logica non ha più voce in capitolo e il buonsenso fugge spaventato >. Si noti che l'analogia tra Einstein e Galilei è ancora più profonda di quanto possa apparire a prima vista. Galilei fu messo a tacere nell'esilio: Einstein potrebbe essere messo a tacere nel mito di una teoria della conoscenza che stabilisca a priori quale sia la strada della buona scienza

e quale sia invece il cammifilosoficamente proibito per la ricerca scientifica. E poiché le tentazioni normative sono oggi diffu**s**e, sia tra quei filosofi che assolutizzano le forme della razionalità neopositivista, sia tra quei sociologhi che vedono nella scienza solamente un potere che distrugge l'uomo, non è pessimistico ritenere, come si è detto all'inizio, che molta bat-

inerziali in moto l'uno rispet-

In questa situazione Einstein

esaminò criticamente gli inva-

rianti che erano alla base del-

Su cosa si basava la con-

vinzione che gli intervalli tem-

porali avessero un valore as-

soluto, indipendente dal siste-

ma di riferimento? Sul senso

comune, naturalmente; ma

questo si basa su osservazio-

ni quantitativamente non ben

definite. Per un fisico un'os-

servazione quantitativamente

ben definita è sinonimo di

la relatività galileiana.

cò con sorprendente severità I taglia si debba ancora fare I dità culturali che si può apl'insieme della nuova fisica l'affinché i linguaggi del auotidiano e della riflessione sulla stavano elaborando. Nel 1914 | scienza siano penetrati dai valori positivi della scienza

Per concludere, va sottolineato che la rivoluzione di Einstein, come ogni vera rivoluzione, seppe, per un verso, conoscere e capire la fisica del passato, e, per l'altro verso, ristrutturarla in forme

innovatrici. Einstein era nato nell'Europa di lingua tedesca, a Ulm, il 14 marzo del 1879: lo stesso anno in cui moriva Maxwell. E studiò al ginnasio di Monaco di Baviera nello stesso periodo in cui si accendeva il pluriennale dibattito contro la fisica teorica di Boltzmann. Non è storicamente futile dire che egli prosegui la loro opera, poiché la svolta del 1905 fu una svolta decisiva che tuttavia si collocava all'interno di un processo avviato da decenni. Né si diminuisce l'importanza delle ricerche di Einstein sottolineando che esse si muovevano nel solco iniziato da Faraday, da Maxwell, da Boltzmann, da Lorentz o da Poincaré: al contrario, è pro-

prio nel ristabilire queste ere-

prezzare la fisica di Einstein senza trasformarla in mitolo-Lo stesso vale per il pacifi-

smo di Einstein. Fuggito nel 1933 dall'Europa a causa delle persecuzioni nazi - fasciste, Einstein si batté per l'uso pacifico delle scoperte scientifiche sulla base di uno slogan razionale: « Dobbiamo renderci conto - scriveva - che non possiamo fare contemporaneamente progetti di pace e di guerra ». Egli era animato da un disprezzo per la violenza e l'ingiustizia che aveva radici lontane e che non si lasciava racchiudere nelle scatole di ideologie improvvisate: nulla di più falso, insomma, di quelle immagini popolari che mutano Einstein in un apprendista stregone che, dopo aver liberato le forze scatenate di una natura ostile si spaventa di ciò che ha fatto, La lotta pacifista di Einstein non fu mai inquinata da avversione per una scienza improvvisamente nemica, ma si resse sempre sulla distinzione tra conoscenza crescen te del reale e uso di tale cono

scenza a fini distruttivi. Enrico Bellone

in molti campi della fisica si

è acquistata familiarità con

particelle che si muovono con

velocità prossime a quella del-

la luce e la relatività ristretta

di Einstein ha trovato confer-

me innumerevoli ed è diven-

La risonanza che questa teo-

ria ebbe al di fuori del mon-

do scientifico è dovuta al fat-

to che essa sconvolgeva delle

nozioni sullo spazio e sul tem-

po che erano frutto essenzial-

mente di speculazioni metafi-

siche e che erano state oggetto

nei secoli passati delle rifles-

sioni di filosofi e teologi. Ciò

diede luogo a numerose rea-

zioni in campo filosofico, ma

Einstein non aveva fatto della

filosofia: aveva soltanto ri-

scito un concreto problema di

fisica affrontandolo con spiri-

to libero da pregiudizi e da

preconcetti. C'è da ritenere

che una riflessione sulla sua

vicenda scientifica gli abbia

ispirato questo suo pensiero:

tata di uso comune-

# Non basta dire

Il giovane Einstein nell'ufficio brevetti di Berna

#### qua e ora Uno dei risultati più noti | classica. Che un corpo riscaldella Teoria speciale della Relatività è l'equivalenza della massa e dell'energia. Questo

risultato raggiunto da Einstein nel 1905 è la base teorica della utilizzazione dell'energia nucleare - pacifica o meno e da esso dipendono i processi che si svolgono nell'interno del Sole e delle stelle, i quali consentono l'esistenza della vita sulla Terra. Alberto Einstein era un giovane di 26 anni, impiegato all'ufficio brevetti di Berna, quando scoprì in un vero lampo di ispirazione questa concezione rivoluzionaria, ma egli sapeva fin da allora che le cose non potevano terminare così; in verità nella scienza le cose non finiscono mai e ogni conquista non è che un nuovo gradino di una scala, la cui cima si perde nelle nubi dell'ignoto, non un punto di arrivo, ma un punto di partenza. Le ragioni per cui bisognava continuare ancora sulla strada iniziata ce le spieza lui stesso nel suo famoso libretto « Il significato della Relatività ».

La prima ragione può parere di natura filosofica o metalisica, Newton, dice Einstein, aveva affermato che Spazio e Tempo sono "assoluti"; quando dico « qua » o « ora », non ho bisogno di aggiungere altro; le mie parole bastano perché tutti mi capiscano. La Teoria speciale della Relatività aveva mostrato che le cose non stanno precisamente così. Se si voleva che gli esperimenti meccanici ed elettromagnetici non si contraddicessero, bisognava cambiare — ma non molto — l'affermazione newtoniana. Spazio e Tempo, presi ciascuno per conto proprio non sono assoluti, ma presi insieme lo sono: o per lo meno, prendendoli insieme, si evita ogni contraddizione tra elettromagnetismo e meccanica. Perché tutti mi capiscano senza possibilità di equivoci non devo dire « qua » e « ora ». ma « qua-ora ». oppure « qua-domani » o anche « là-ora », tut-

to insieme. Era, naturalmente, un gran passo avanti, ma non risolveva i dubbi che, prima di Einstein, filosofi come Berkeley e scienziati' come; Mach 'avevano sollevato sulla natura dello Spazio e del Tempo. La Teoria (speciale) della Relatività non era abbastanza « relativisca»; non aboliva l'assoluto, ma ne creava uno diverso, fondendo insieme due 'relativi''. Mach aveva capito la necessità di abolire nella fisica ogni idea di "assoluto", impostando la meccanica sul moto di una massa rispetto ad altre masse, anzi rispetto a tutte le masse cosmiche; ma non era riuscito nel suo tentativo, semplicemente perché la fisica "classica" non era in grado di farlo. Ora. però. la Teoria speciale della Relatività aveva aperto nuove possibilità.

La seconda ragione sembra

più direttamente collegata con quello che sarà l'obiettivo che Einstein perseguirà d'ora in poi, fino a raggiungerlo tra il 1916 e il 1919: una teoria del Campo gravitazionale; quello che Newton non aveva osato tentare, dichiarando che non voleva « inventare ipotesi », « hypotheses non fingo», e che gli bastava far vedere che la sua legge della gravitazione universale, qualunque ne fosse il meccanismo intimo, spiegava tutti i fenomeni allora conosciuti. la caduta dei gravi, i moti dei corpi celesti, le maree. Noi abbiamo due modi di desinire che cocioè due « masse », che sono in realtà due cose diverse, anche se le chiamiamo con lo rappresentare una specie di "pigrizia" (inerzia) dei cor-L'altra è la emassa gravitaguarda la grandezza della forza con eni i corpi 4i attiradato pesi un pochino di piu di quando era freddo non disturba molto, ma che l'energia, e quindi la massa, di un corpo dipenda dalla sua posizione (rispetto ad altre musse) è in verità una cosa alquanto misteriosa. Non dimentichiamo che al principio del secolo si insegnava che « la massa è la quantità di mate-

La soluzione trovata da Ein-

stein si fonda sopra un con-

cetto terribilmente astratto: la

curvatura dello spazio, anzl

dello spazio-tempo. Lo spa-

zio della nostra intuizione or-

dinaria è uno spazio euclideo, cioè obbedisce a tutti i teoremi della geometria codificati da Euclide trecento anni avanti Cristo. In verità lo Spazio è quello che è, ma noi siamo così terribilmente condizionati da quanto ci viene insegnato fin da bambini, che è impossibile liberarsi da un certo modo di pensare. Pure, basta riflettere un momento per accorgersi che c'è qualcosa che non funziona in questo condizionamento. La geometria — non solo quella di Euclide -- afferma che certe cose, che si chiamano rette. triangoli, cerchi, cubi, sfere.... possiedono certe proprietà; per esempio, la diagonale di un quadrato è uguale al lato moltiplicato per la radice quadrata di 2. Ma chi ha mai visto una « retta » o un « cerchio »? Quando noi disegniamo un cerchio con un compasso, se andiamo a guardarlo con una lente di ingrandimento, vediasciati dalla matita. che formano una traccia più o meno larga e regolare, ma su cui non sapremo identificare un «punto» per verificare, misurando, che la sua distanza dal centro (quale centro?!) è uguale al raggio. Gli enti geometrici sono una cosa. gli oggetti reali un'altra. Ora, già nel secolo «cor«o, grazie all'opera di grandi matematici come Gauss, Bolyai, Lobacevski, Riemann e altri, si era scoperto che la codificazione euclidea della geometria non era l'unica possibile. La differenza tra una superficie cuclidea - una parte di un piano - e una non'euclideo -- una parte di una efera - è evidente, ma se si passa a tre dimensioni, la differenza tra uno spazio enclideo e uno non-euclideo diviene assai difficilmente visualizzabile. Meglio rinunciare a visualizzarlo e impiegare, per descrivere le proprietà degli enti geometrici non-euclidei, il linguaggio astratto dell'analisi infinitesimale. Ciò è perfettamente possibile ed è solo questione di tecnica; nella forma più raffinata, inventata da Gregorio Ricci-Curbastro, Tullio Levi-Civita e altri matematici del principio di questo. secolo rappresenta il linguaggio ideale per la descrizione degli oggetti reali della fisica in termini geometrici. Di questo linguaggio fa uso Einstein nel dare un'espressione alla sua idea di associare il campo gravitazionale prodotto da una massa a quella proprietà geometrica dello spazio-tempo che corrisponde al concetto di curvatura (di una su-, perficie), aggiungendo la condizione che un corpo non soggetto a forze, diverse dalla gravità. debba muoversi lungo una linea che rappresenta in uno spazio non-euclideo la generalizzazione di una retta eu-

effetti sono la stessa cosa. La Teoria generale della Relatività, cioè la teoria moderna del Campo gravitazionale, è perciò in sostanza una geometrizzazione della fisica, da cui — almeno per quanto risnarda la gravità — viene eliminato il vecchio concetto di « forza », sostituito da quello di curvatura dello spaziotempo. A questo punto - volendo interpretare il suo contenuto in termini correnti si notrebbe dire che le masse. dei corpi « curvano » lo «pazio intorno ad essi in maniera tale che le geodetiche dello «pazio-tempo coincidano con le traiettorie dei corpi (su cui non agiscano altre forze che la gravità): per esempio. orbite dei pianeti e dei satelliti. il moto di un corpo che cade.... e anche il cammino di un raggio di luce. Ma si può dire anche che noi vediamo che i corpi su cui non agiscono forze, descrivono certe traiettorie e. interpretando queste come geodetiche dello. spazio - tempo, ne deduciamo la curvatura e «chiamiamo» massa di un corpo la « casa » di questa curvatura. In quest' ordine di idee. la variazione della massa di un corpo, se questo è spostato, non ha più nulla di misterioso. Onesto è il profondo signi-

clidea; in linguaggio tecnico

questa linea è detta « geodeti-

ca » (dello spazio-tempo). In

tal modo evidentemente gravi-

tà e inerzia, cioè massa gravi-

tazionale e massa inerte in

ficato della Relatività einsteiniana, la più grande sintesi. della interpretazione della Natura che il genio umano abbia

prodotto finora,

Livio Gratton

## Il grande passo oltre Galileo

Lo studio dei fenomeni elettromagnetici pose dei problemi insolubili all'interno della relatività galileiana che aveva tenuto il campo per due secoli - La formula geniale che comportò la modifica della meccanica di Newton



Albert Einstein e G. R. Oppenheimer a Princeton nel 1949

Quando diciamo che un oggetto si muove, implicitamente intendiamo dire che si muove rispetto ad altri oggetti: nell'esperienza quotidiana in genere intendiamo che si muove rispetto ai muri delle case, cioè rispetto alla terra. Nel linguaggio un po' pedante dei fisici questa situazione si descrive dicendo che nell'esperienza quotidiana il moto è ri-

ferito ad un « sistema di rife-

rimento» solidale con la terra.

Tuttavia in particolari situazioni siamo portati a cambiare il sistema di riferimento: se, per esempio, siamo su un treno in corsa, diciamo che è ferma la valigia che abbiamo sistemato sul porta baga gli. mentre essa corre a più di cento chilometri all'ora rispetto alla terra; ciò perché in questo caso scegliamo come sistema di riferimento più comodo il treno. Se cade della pioggia che, vista cadere da terra, senibra cadere verticalmente, quando la guardiamo dal treno in corsa la vediamo cadere obliquamente. In altre parole la descrizione del moto di un medesimo oggetto dipende dal sistema di riferimento rispetto al quale si riferisce il moto medesimo: in ciò consiste la re

Il problema che la relati vità del moto pone alla fisica è abbastanza chiaro: « date le equazioni matematiche che descrivono le leggi del moto rispetto ad un sistema di ri-

latività del moto.

ste le equazioni che descrivo i invarianza degli intervalli i no tali che lasciano invariata di trasformazione è necessario individuare delle grandezze che non vengano alterate dalla trasformazione, cioè che non abbiano un aspetto differente se osservate dai differenti sistemi di riferimento. o, come si dice nel linguaggio scientifico, che siano « invarianti > o « assolute ».

La prima soluzione di questo problema è quella che va sotto il nome di relatività galileiana. Le grandezze assolute su cui si basa la relatività galileiana sono le distanze spaziali e gli intervalli temporali. Questa scelta fu suggerita dall'esperienza comune di ogni giorno. Infatti la indinendenza delle distanze spaziali dal sistema di riferimento significa che le dimensioni di un corpo non mutano se lo guardiamo da fermi o gono chiamati inerziali. Le do era osservata da due dif-

ferimento, ricavare da que- i da un'automobile in corsa. La l trasformazioni galileiane sochi ha viaggiato sul treno che per chi è rimasto a terra. Le trasformazioni galileiane, ottenute con questi presupposti, hanno anche un'al-

> La ricerca d'una risposta

tra proprietà che riguarda le

leggi della meccanica newto-

Queste leggi assumono una forma particolarmente semplice nei sistemi di riferimento solidali con le stelle fisse o che si muovono di moto rettilineo con velocità costante i rispetto alle stelle fisse: questi sistemi di riferimento ven- condo leggi ben precise quan-

no queste leggi rispetto ad un temporali significa che se un la forma delle leggi della mecaltro sistema di riferimento in treno ha impiegato cinque ore i canica newtoniana quando si moto rispetto al primo ». Per i per andare da una città ad i passa da un sistema di rifetrovare la forma delle leggi un'altra, ciò è vero sia per rimento inerziale ad un altro. La relatività galileiana tenne il campo incontrastata per più di due secoli, sino a quando si cominciarono a capire meglio i fenomeni elettromagnetici. Ci si rese conto che le leggi dell'elettromagnetismo non erano invarianti per trasformazioni galileiane che facevano passare da un sistema di riferimento inerziale ad un altro. Da ciò veniva fuori la esistenza di un qualche sistema di riferimento « privilegiato » per i fenomeni elettromagnetici. Però nessuna esperienza riuscì a mettere in evidenza l'esistenza di un tale sistema di riferimento, ed anzi ci si accorse che la velocità della luce era invariante, mentre secondo la relatività galileiana doveva cambiare se-

operazione di misura. Il tempo si misura con gli orologi, e le lunghezze con dei regoli. Einstein cercò di descrivere degli esperimenti che usando orologi e regoli perfetti verificassero se gli intervalli di tempo erano indipendenti dal sistema di riferimento. Ne venne fuori che per potere dare una risposta a questo quesito era necessario sapere come la velocità di un segnale era vista da differenti sistemi di riferimento in moto gli uni rispetto agli altri. Per sapere ciò sarebbe stato necessario fare uso delle leggi di trasformazione della relatività galileiana. le quali a loro volta presupponevano che gli intervalli di tempo erano indipen-

ri > come vera: tutto ciò era privo di senso. Il difetto dell'affermazione del senso comune, cioè dell'invarianza degli intervalli temporali, non era tanto quello dell'imprecisione, quanto quello di non potere mai avere la legittimazione di una verifica sperimentale. Qualcosa di simile accadeva se si tentava di verificare la invarianza delle distanze spaziali. Ciò privava la relatività galileiana di

denti dal sistema di riferi-

mento. In altre parole per ve-

rificare un'affermazione bi-

sognava accettarla « a prio-

qualsiasi fondamento fisico. Einstein cercò allora delle formule di trasformazione che si basassero su invarianti che avessero una giustificazione sperimentale: egli scelse la invarianza della velocità della luce che era suggerita, come abbiamo visto, da vari esperi- i físici del 1922 non si sbilan-

ferenti sistemi di riferimento | menti e l'equivalenza di tutti | ciassero troppo. Ma da allora i sistemi di riferimento inerziali (principio di relatività). anche questa in accordo con gli esperimenti.

Le leggi di trasformazione che così si ottenevano avevano delle proprietà straordinarie: un corpo in moto appariva accorciato nella direzione del suo moto; un orologio in moto sembrava ritardare rispetto a quando stava fermo. Queste variazioni sono praticamente impercettibili per corpi che, come avviene usualmente, si muovono con velocità piccola rispetto a quella della luce, anzi in questo caso le leggi einsteiniane danno praticamente gli stessi risultati di quelle galileiane: gli effetti diventano sensibili soltanto a velocità prossime a quella della luce. Inoltre le formule di trasformazione einsteiniane rendevano invarianti le leggi dell'elettromagnetismo, ma naturalmente rovinavano l'invarianza della meccanica newtoniana che era data dalla relatività galileiana.

#### Contro concetti metafisici

Einstein, fidando nella magsua teoria, modificò la meccanica newtoniana in modo da renderla invariante per le sue trasformazioni in coerenza con iı principio di relatività. Anche in questo caso si ebbero modifiche che erano trascurabili nel caso di piccole velocità, ma non quando si arrivava a velocità prossime a quella della luce. La più clamorosa di queste modifiche fu che la massa di un corpo cresceva con la sua velocità, sino a divenire infinita per una velocità prossima a quella della luce. La velocità della luce, inoltre, si presentava come la massima velocità realizzabile in natura. In-

fine si deduceva l'equivalenza della massa e dell'energia. E' comprensibile che in attesa di verifiche sperimentali

4

e La sola giustificazione dei nostri concetti e dei sistemi di concetti sta nel fatto che essi servono a rappresentare il complesso delle nostre esperienze: oltre a ciò essi non hanno nessuna legittimità. Sono convinto che i filosofi hanno avuto un'influenza dannosa sul progresso del pensiero scientifico spostando certi concetti fondamentali dal dominio

dell'empirismo, dove essi erano sottoposti al nostro controllo, alle altezze intangibili dell'a priori. Poiché, anche se dovesse dimostrarsi che il mondo delle idee non può dedursi con mezzi logici dall'esperienza, ma fosse in un certo senso una creazione della mente umana senza la quale non è possibile alcuna scienza. ciò nonostante il mondo delle idec sarebbe altrettanto indipendente dalla natura della nostra esperienza quanto un abito dalla forma del corpo umano. Ciò è particolarmente vero dei concetti di tempo e di spazio, che i fisici sono stati obbligati dai fatti a fare discendere dall'Olimpo dell' a priori per adattarli e ren-

Marcello Beneventano

derli servibili ».

s'è la massa, dice Einstein, stesso nome: uno è la cosiddetta e massa inerte », il rapporto tra la forza e l'accelerazione del moto, che sta a pi. Per mettere in moto un carro più pesante (come per arrestarlo) mi occorre applicare una forza più grande che per un carro più leggero. zionale » o « attiva », che ri-

no l'un l'altro. Queste due masse diverse in linea di principio. devono eston, come prima di lui aveva riconosciuto Galileo. Perché? Perché si, risponde Newton, che non vuole inventare ipotesi! Ma Einstein non si accontenta e vuole una rispoeta meno dogmatica. Tanto più che da un lato gli esperimenti del fisico unzherese Roland, barone von Eötvöss, avevano mostrato che effettivamente l'uguaglianza delle due masse è verificata con grandissima precisione. (Recentemente questi esperimenti sono stati ripetuti dall'americano Dicke e dal russo Braginsky con una precisione ancora più alta: una parte su cento miliardi; sarebbe come accorgersi se in una petroliera è stato caricato un grammo di petrolio in più o in meno). Dall'altro lato, l'equivalenza tra massa ed energia

non era previeta dalla fisica