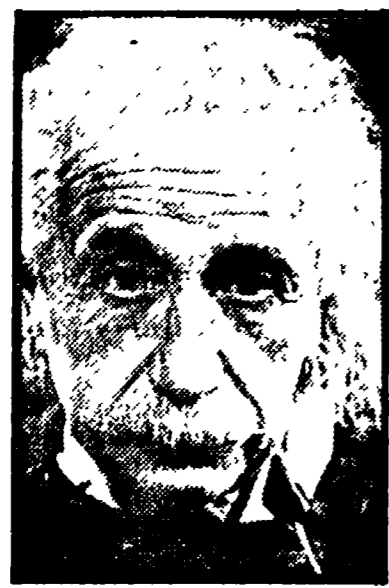


Cento anni fa nasceva Albert Einstein il grande teorico della relatività

«Newton, perdonami, tu hai 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 concetti più discosti dalla sfera dell'esperienza immediata, se si vorrà raggiungere una conoscenza più approfondita dei rapporti tra le cose».



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 Einstein aveva naturalmente dei prezzi molto alti. In particolare, essa implicava la critica e la riformulazione di concetti 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.

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

La natura è costituita in modo tale che è possibile logicamente stabilire leggi fortemente determinate, nell'ambito delle quali si presentano solo costanti definite in modo completamente razionale. Da questo punto di vista, sostiene Einstein, le teorie non nascono 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 matematica: ed è conoscenza oggettiva del mondo reale. Non è allora difficile cogliere una analogia tra Einstein e Galilei. Entrambi vollero edificare un sapere astratto che violava il senso comune e metteva a tacere le regole assolute di una metafisica infuente. Ed è allora giusto ricordare che la metafisica più sottile del nostro secolo — e cioè quella di Pierre Duhem, che utilizzava la filosofia della scienza per imporre alla scienza stessa le norme logiche e assolute della buona strada della ragione — giudi-



Il giovane Einstein nell'ufficio brevetti di Berna

Non basta dire qua e ora

Uno dei risultati più noti della 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 — specifica o meno — 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, non un punto di arrivo, ma un punto di partenza. Le ragioni per cui bisognava continuare ancora sulla strada iniziata ce le spiega lui stesso nel suo famoso libretto «Il significato della Relatività».

La soluzione trovata da Einstein si fonda sopra un concetto terribilmente astratto: la curvatura dello spazio, anzi dello spazio-tempo. Lo spazio della nostra intuizione ordinaria 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. Pare, basta riflettere un momento per accorgersi che c'è qualcosa che non funziona in questo condizionamento. La geometria — non solo quella di Euclide — che si chiama geometria, 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 disegnamo un cerchio non stiamo precisamente così. Se al volevo che gli esperimenti meccanici ed elettromagnetici non si contraddicessero, bisogna 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. Perciò tutti mi capiscono senza possibilità di equivoci non devo dire «qua» e «ora», ma «qua-ora», oppure «qual-oram» o anche «là-ora», tutto insieme.

La prima ragione più pare di natura filosofica o metafisica. 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 non stanno precisamente così. Se al volevo che gli esperimenti meccanici ed elettromagnetici non si contraddicessero, bisogna 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. Perciò tutti mi capiscono senza possibilità di equivoci non devo dire «qua» e «ora», ma «qua-ora», oppure «qual-oram» o anche «là-ora», tutto 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 «relativistica»; non aboliva l'assoluto, ma aveva uno diverso, fondendo insieme due «relatività». 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, non aboliva l'assoluto 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.

Lo stesso vale per il pacifismo 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 un 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 inquina da avversione per una scienza improvvisamente nemica, ma si resse sempre sulla distinzione tra conoscenza crescente del reale e uso di tale conoscenza a fini distruttivi».

Enrico Bellone

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

E' molto raro che i non addetti ai lavori sappiano il motivo specifico per cui ad un fisico viene assegnato il premio 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 fotoelettrica ed i suoi lavori nel campo della fisica teorica». Eppure già nel 1905 Einstein con due brevi note, complessivamente di una trentina di pagine, aveva sconvolto le nostre nozioni di spazio, di tempo e la meccanica newtoniana enunciando la relatività «ristretta» o «speciale», e nel 1916 aveva posto le basi della moderna cosmologia generalizzando la relatività ristretta nella relatività generale.



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

ferenti sistemi di riferimento inerziali in moto l'uno rispetto all'altro. In questa situazione Einstein esaminò criticamente gli invarianti che erano alla base della relatività galileiana. Su cosa si basava la convinzione che gli intervalli temporali avessero un valore assoluto, indipendente dal sistema di riferimento? Sul senso comune, naturalmente: ma questo si basa su osservazioni quantitativamente non ben definite. Per un fisico un'osservazione quantitativamente ben definita è sinonimo di 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 oggetto 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 presupponivano che gli intervalli di tempo erano indipendenti dal sistema di riferimento. In altre parole per verificare un'affermazione bisognava accettarla «a priori» come vera: tutto ciò era privo di senso.

La risonanza che questa teoria ebbe al di fuori del mondo scientifico è dovuta al fatto che essa sconvolgeva delle nozioni sullo spazio e sul tempo che erano frutto essenzialmente di speculazioni metafisiche e che erano state oggetto nei secoli passati delle riflessioni di filosofi e teologi. Ciò diede luogo a numerose reazioni in campo filosofico, ma Einstein non aveva fatto della filosofia: aveva soltanto risolto un concreto problema di fisica affrontandolo con spirito libero da pregiudizi e da preconcetti. C'è da ritenere che una riflessione sulla sua vicenda scientifica gli abbia ispirato questo suo pensiero: «La sola giustificazione dei nostri concetti è 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 della metafisica». Poiché, anche se dovesse dimostrarsi che il mondo delle idee non può darsi 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 idee 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 renderli servibili».

La seconda ragione sembra più direttamente collegata con quello che sarà l'obiettivo che Einstein perseguirà dopo la sua partenza per l'Inghilterra 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 definire che cos'è la massa, dice Einstein, cioè due «*masse*», e che in realtà due cose diverse, anche se le chiamiamo con lo stesso nome: una è la cosiddetta «*massa inerziale*», il rapporto tra la forza e l'accelerazione del moto, che sta a rappresentare una specie di «*pigrità*» (inerzia) dei corpi. Per mettere in moto un corpo più pesante (come per arrestarlo) mi occorre applicare una forza più grande che per un corpo più leggero. L'altra è la «*massa gravitazionale*» o «*attiva*», che riguarda la grandezza della forza con cui i corpi si attirano l'un l'altro.

Valori assoluti

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 riferito ad un «sistema di riferimento» solido con la terra. Tuttavia in particolari situazioni siamo portati a cambiare il sistema di riferimento; per esempio, siamo su un treno in corsa, diciamo che è ferma la valigia che abbiamo sistemato sul porta bagagli, mentre essa corre a più di cento chilometri all'ora rispetto alla terra; ciò perché in questo caso scegliamo come sistema di riferimento comodo il treno. Se cade dalla pioggia che, vista cadere da terra, sembra 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 relatività del moto.

ferimento, ricavare da queste le equazioni che descrivono queste leggi rispetto ad un altro sistema di riferimento in moto rispetto al primo. Per trovare la forma delle leggi 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 indipendenza delle distanze spaziali dal sistema di riferimento significa che le dimensioni di un corpo non mutano, se lo guardiamo da fermi o

da un'automobile in corsa. La invarianza degli intervalli temporali significa che se un treno ha impiegato cinque ore per andare da una città ad un'altra, ciò è vero sia per chi ha viaggiato sul treno che per chi è rimasto a terra. Le trasformazioni galileiane, ottenute con questi presupposti, hanno anche un'altra proprietà che riguarda le leggi della meccanica newtoniana.

trasformazioni galileiane sono tali che lasciano invariata la forma delle leggi della meccanica newtoniana quando si passa da un sistema di riferimento inerziale ad un altro. La relatività galileiana tiene 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 secondo leggi ben precise quando era osservata da due diversi sistemi di riferimento inerziali. Le

Contro concetti metafisici

Einstein, fidando nella maggiore plausibilità fisica dei concetti fondamentali del dominio dell'empirismo, dove essi erano sottoposti al nostro controllo, alle altezze intangibili della metafisica. Poiché, anche se dovesse dimostrarsi che il mondo delle idee non può darsi 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 idee 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 renderli servibili».

Marcello Beneventano

Questo è il profondo significato della Relatività einsteiniana, la più grande sintesi della interpretazione della Natura che il pensiero umano abbia prodotto finora.

Livio Gratton