

La fisica moderna dopo Einstein

Prolusione del Socio nazionale residente ENRICO PREDAZZI
per la cerimonia inaugurale dell'anno accademico 2005-2006

*Reffiniert ist der Herrgott,
aber boshaft ist er nicht*

Il 10 giugno 2004, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha approvato per acclamazione, la proposta dell'UNESCO di proclamare il 2005 *Anno Internazionale della Fisica* con la seguente risoluzione:

The General Assembly of United Nations,

- *Recognizing* that physics provides a significant basis for the development of the understanding of nature,
- *Noting* that physics and its applications are the basis of many of today's technological advances,
- *Convinced* that education in physics provides men and women with the tools to *build* the scientific infrastructure essential for development,
- *Being aware* that the year 2005 is the centenary of seminal scientific discoveries by Albert Einstein which are the basis of modern physics,
- *Welcomes* the proclamation of 2005 as the International Year of Physics by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization;
- *Invites* the United Nations Educational, Scientific and Cultural *Organization* to organize activities celebrating 2005 as the International Year of Physics, collaborating with physics societies and groups throughout the world, including in the developing countries;
- *Declares*: the year 2005 the International Year of Physics.

L'incarico conferitomi dal Presidente e dal Consiglio di Presidenza di tenere la prolusione nella seduta inaugurale del 223esimo anno dell'Accademia delle Scienze di Torino in concomitanza con le celebrazioni del *2005 Anno mondiale della Fisica* è per me allo stesso tempo un motivo di grande onore per il prestigio che l'evento comporta e fonte di non poca trepidazione per la delicatezza dell'impegno.

È, certo, molto opportuno un ricapitolo generale sulle prospettive della fisica, oggi, in Italia e nel mondo mentre si celebra il centenario dell'*annus mirabilis* nel quale Albert Einstein pose la prima pietra di due delle grandi rivoluzioni scientifiche di tutti i tempi che hanno dato l'impronta allo sviluppo scientifico del XX secolo: la Relatività e la Meccanica Quantistica. Nello stesso anno, poi, con la sua tesi di dottorato e con il lavoro sul moto Browniano, egli contribuì in maniera determinante a chiudere la lunga e snervante diatriba dell'Ottocento sulla reale esistenza degli atomi (diatriba che, un anno dopo, nel 1906, avrebbe ancora contribuito a portare Boltzmann al suicidio).

Il grado di complessità strutturale raggiunto dalla Fisica oggi è difficile da apprezzare anche per gli addetti ai lavori e diventa quindi una scommessa cercare, in un tempo così limitato, di farne intuire l'ampiezza e la portata a chi la fisica non la pratica (e questo spiega la mia preoccupazione per la delicatezza dell'impegno che mi sono assunto).

La situazione presenta aspetti oggettivamente contraddittori. Da un lato, come tutte le scienze di base (matematica, chimica, scienza dei materiali ecc.), la fisica attraversa una crisi che riguarda tutto il mondo occidentale e che si manifesta in una disaffezione dei giovani che non la coltivano più con la passione del passato e in un appannamento generale della sua immagine di fronte al grande pubblico.

Potrei elaborare a lungo sia sulle cause che hanno prodotto questa situazione che sui rimedi che sono stati divisiati ma mi limiterò a dire che spero che il peggio, a questo riguardo, sia alle nostre spalle (ma solo il tempo ce lo potrà confermare).

Dall'altro lato, mentre tutti ne riconoscono il ruolo trainante nello sviluppo economico del mondo odierno, mai come oggi la **ricerca** in fisica è vivace e si trova in un vero e proprio stato di grazia. Questo, non perché uno dei suoi campi *tiri* (come si dice in gergo) ma proprio perché tutti sono in grande espansione mentre assistiamo ad una vera e propria proliferazione di temi che hanno raggiunto la loro maturità. Ciò si percepisce già nella motivazione con cui l'Assemblea Generale dell'ONU ha dichiarato il 2005 *Anno mondiale della Fisica*.

Per esemplificare, e con la certezza di dimenticare molte altre voci, mi limiterò a un elenco in ordine alfabetico di campi che, partendo dalla *Fisica* (termine che, ricordo, viene da φύσις cioè *Natura*) sono ormai diventati discipline praticamente indipendenti

- *Astronomia, Astrofisica e Cosmologia*
- *Biofisica e Fisica Medica*
- *Fisica applicata (elettronica, optometria, criogenia, rivelatori....)*

- *Fisica computazionale e suoi sviluppi (www, grid)*
- *Fisica delle alte energie e delle particelle (sperimentale e teorica)*
- *Fisica dello stato solido e della materia*
- *Fisica nucleare*
- *Fusione nucleare, nuove forme di energia*
- *Geofisica*
- *Meccanica quantistica (verifiche e sviluppi: crittografia, calcolatori quantistici, teletrasporto...)*
- *Metereologia e Fisica della terra fluida*
- *Micro, nanotecnologie e nuovi materiali*
- *Turbolenza, tsunami, complessità, fisica non lineare...*

Aggiungerò ancora che il premio Nobel Leon Lederman (all'epoca *Chief Scientific Advisor* dell'allora Presidente Bill Clinton) nel 1999, in un'audizione di fronte al Senato degli Stati Uniti affermava che *...il 50% del prodotto lordo degli USA è legato a cose prodotte utilizzando la fisica e la meccanica quantistica: transistor, microprocessori, laser ecc.* È un'affermazione che può apparire estrema ma è facile convincersi che non lo è se si prende una rivista specializzata come *Technology Review* o *Optics Photonics* e si guarda soltanto l'enumerazione di quelle che ormai sono diventate applicazioni correnti di *high tech* ma che sono nate come sviluppi della ricerca scientifica di base in fisica nelle sue innumerevoli varianti.

Vediamo di capire quale è stato il contributo fondamentale di Einstein nel portarci a questa situazione privilegiata di oggi.

La figura di Einstein solleva problematiche di respiro estremamente ampio non solo come scienziato ma come filosofo, sociologo, politico e uomo socialmente impegnato. Il 2005, poi, ha portato ad un'esegesi approfondita della vita e del lavoro di Einstein da cui non sfuggono né i suoi momenti di trionfo e di maggior gloria né (e tutto sommato, meno male) le sue debolezze, piccole e grandi, né i suoi momenti di crisi. Ormai sappiamo *"tutto"* (si fa per dire) della sua vita, dei suoi trionfi scientifici, dei risvolti politici, sociologici e umani e l'aneddotica su Einstein, già molto ampia, ha raggiunto vette inconsuete (alcune anche divertenti ma certo da verificare come, per esempio, che la sua celebrata passione per il violino si risolvesse talora in un infliggere i suoi svaghi musicali ad amici ed ammiratori con l'implicazione, quindi, che il piccarsi di suonarlo bene fosse una sua *"debolezza"*). Memorabili anche alcuni episodi ben noti ma molto interessanti come quando nel 1952 alla morte del Presidente Weizman, l'allora Primo Ministro Ben Gurion fece offrire ad Einstein (che rifiutò) di assumere la presidenza dello Stato di Israele salvo poi, chiacchierando con l'allora suo segretario Navon che di-

venterà poi Presidente dello Stato, chiedersi con preoccupazione «cosa facciamo se accetta?».

La figura di Einstein come *scienziato* è non soltanto geniale ma estremamente complessa e innovativa: a tratti addirittura rivoluzionaria (come nel caso dell'*effetto fotoelettrico*) e a tratti, malgrado ciò possa apparire quasi una contraddizione in termini, fortemente conservatrice come dimostra la sua costante e inflessibile non accettazione e critica della Meccanica Quantistica (“*dio non gioca a dadi*”). Critica che, peraltro, più fruttuosa, in retrospettiva, non avrebbe potuto essere.

È quindi molto appropriato che il mondo intero abbia deciso di celebrargli un giusto tributo.

Ho già ricordato il 1905 quando il giovane Einstein (aveva all'epoca 26 anni) che fino ad allora non aveva dato segnali di particolare eccezionalità di pensiero, pubblica sei lavori (includendo la sua tesi di dottorato il cui titolo è già un programma “*Su una nuova determinazione della dimensione molecolare*”) che complessivamente rivoluzionano la fisica.

Tra questi lavori, tre sono fra i suoi contributi maggiori. Il più celebre è certamente quello sulla *Relatività speciale o ristretta* (si tratta, in realtà, di due lavori di cui il primo è ricevuto dalla rivista il 30 giugno e il secondo, dove compare per la prima volta la celebre relazione $E=mc^2$, a settembre) e al suo apparire si presenta come una vera e propria rivoluzione del pensiero scientifico ma è già una teoria praticamente completa. Quello, invece, sull'*Effetto fotoelettrico* (per cui riceverà il premio Nobel nel 1922), prelude all'altra grande rivoluzione della fisica del secolo passato, la Meccanica Quantistica che sotto molti aspetti resta oggi ancora incompleta e nei cui confronti Einstein avrà sentimenti contrastanti per tutta la sua vita. L'ultimo, infine, quello sul *Moto Browniano*, è la prima indiscutibile prova dell'esistenza degli atomi (delle molecole) e in cui è difficile dire se il pregio maggiore consiste nella sua implicita dimostrazione dell'esistenza degli atomi o nel fornire un nuovo modo per determinare la costante di Avogadro o, infine, nello stabilire la connessione tra legge dei gas perfetti e pressione osmotica.

Einstein darà ancora altri contributi di grande importanza, di cui la *Relatività Generale* (1916) è non solo il maggiore ma anche quello che ha avuto gli sviluppi più compiuti (ma come ignorare il lavoro del 1935 sul cosiddetto *paradosso EPR* per *Einstein, Podolski e Rosen*)? Ciononostante, non avrà più un anno così straordinariamente fecondo. Proprio come Newton non avrà più un anno così produttivo come il 1665.

Vista nella prospettiva di un secolo, l'impronta lasciata da Einstein nella Fisica appare talmente complessa e molteplice da scoraggiare una catalogazione pura e semplice suggerendo invece l'indicazione di tratti generali.

Da un lato abbiamo l'eccezionalità, l'originalità, la genialità delle intuizioni e delle applicazioni dei suoi lavori; dall'altro, la straordinaria modernità delle strade da lui aperte sia nel successo che nell'insuccesso hanno portato a risultati talora inaspettati ma straordinari.

Penso all'unificazione delle forze elettromagnetiche e deboli avvenuta negli anni Settanta per merito di Glashow, Salam e Weinberg che, credo, si può vedere come risultato postumo del testardo perseguimento di Einstein del suo (peraltro non riuscito) tentativo di unificare gravitazione ed elettromagnetismo. Ma penso anche alle sue continue e produttive critiche della Meccanica Quantistica che, con il contributo di molti (fra cui, principalmente, il fisico scozzese John Bell), ha raggiunto vette impensabili ancora alcuni decenni fa e promette sviluppi ancora più sensazionali quali *crittografia quantistica*, *calcolatori quantistici*, *teletrasporto* ecc. tutti, per quel che possiamo prevedere, alla frontiera ultima della conoscenza umana.

Penso però anche agli sviluppi cui, come sviluppo della *Relatività* è giunta l'*Astrofisica* che è ormai una scienza sperimentale e il cui (auspicabile ma certo ancora a venire) possibile confluire con la fisica del microcosmo potrebbe rappresentare il punto ultimo per la cosiddetta *Teoria del tutto* (o *GUT* per *Grand Unification Theory*) che molti fisici teorici (non io, francamente) credono sia dietro l'angolo.

Penso, poi, alle innumerevoli applicazioni che sono scaturite dalle teorie di Einstein ed a taluni sviluppi assolutamente imprevedibili come, per giungere al caso più estremo, quello della *Relatività Generale* che per molto tempo si è pensato non potesse mai portare ad applicazioni pratiche. È poco noto ai più ma la precisione del sistema satellitare americano *GPS* (per *Global Positioning System*) (così come per il prossimo sistema europeo *Galileo* cui tanto dovrebbe contribuire anche la scienza torinese) che permette oggi di localizzare la posizione sulla Terra con un'incertezza di pochi metri, è proprio dovuta alla *Relatività Generale*. Con le sole correzioni della *Relatività speciale* (cioè senza quelle della *Relatività Generale*), l'incertezza nella misura della posizione che sarebbe data da un sistema di satelliti non scenderebbe sotto la decina di chilometri! Questo perché il sistema è basato sulla rilevazione simultanea dei segnali captati e rinviati da almeno tre satelliti orbitanti intorno alla Terra i cui orologi, per essere ad alta quota, vanno, come previsto dalla sola *Relatività Generale* più lenti di quelli sulla Terra di circa 38600 nanosecondi (un nanosecondo essendo un milionesimo di secondo). Dato che la velocità della luce è di circa 300.000 chilometri al secondo si traduce, appunto, in circa 10 Km di scarto.

Penso, finalmente, alla famosa e famigerata introduzione da parte di Einstein nelle sue equazioni, della cosiddetta *costante cosmologica* che, definita da lui stesso, a un certo punto, il suo peggiore errore, è ricomparsa in tempi

recenti come *deus ex machina* a fornire una possibile spiegazione del perché l'espansione dell'Universo, anziché rallentare come la legge della gravitazione porterebbe a prevedere, aumenta.

Su alcuni di questi punti torneremo in chiusura.

Un altro merito, meno conosciuto e soprattutto molto meno riconosciuto ma che, di nuovo, appare come assolutamente eccezionale, è la capacità di Einstein di estrarre l'essenziale da una grande massa di dati e di informazioni e di costruirne un'elaborazione scartando tutto ciò che, in quanto *inessenziale*, oscura il problema nascondendone la soluzione (come fu per l'effetto fotoelettrico e per il moto Browniano). Come scrisse uno dei suoi più appassionati ammiratori e biografi, il fisico Abraham Pais, «Meglio di chiunque altro prima e dopo di lui, egli seppe inventare principi di invarianza e fare uso di fluttuazioni statistiche».

Einstein stesso ci dice «La quantità dei dati sperimentali non sufficientemente connessi fra loro era predominante... In questo campo, tuttavia, io ho imparato subito a scegliere ciò che portava in sé i fondamenti e girare al largo da tutto il resto, dalla moltitudine di cose che ingombrano la mente e la distolgono dall'essenziale». Quasi le stesse parole con cui da studente descriveva il suo malessere di fronte a metodi didattici che lo obbligavano a ingombrare la mente con particolari insignificanti.

Per approfondire brevemente l'impatto che la figura di Einstein proietta sulla fisica di oggi, sarebbe utile sviluppare alcuni punti della sua opera quali:

- 1) *gli aspetti scientifici della capacità di penetrazione del messaggio einsteiniano*, su cui mi soffermerò sotto
- 2) *l'approccio di Einstein alla fisica teorica*, su cui mi soffermerò molto brevemente per concludere invece, tornando all'aneddotico, con
- 3) *gli "errori" di Einstein*, dove, le virgolette sugli "errori", come vedremo, stanno ad indicare che capita, certo, che i "geni" sbagliano ma capita anche che i loro errori possano essere fecondi di sviluppi inaspettati...

1. Gli aspetti generali della capacità di penetrazione del messaggio einsteiniano

Come già rilevato, due (o tre, a seconda di come si contano le prime due), sono le grandi rivoluzioni nella fisica della prima metà del Novecento, la *Relatività Ristretta (1905) e Generale (1916)* e la *Meccanica Quantistica*. Però, mentre la relatività nasce come una teoria praticamente completa, la seconda è ancor oggi largamente incompiuta. Einstein è stato il protagonista assoluto della prima e ha fortemente influenzato la seconda dalle fasi iniziali (effetto fotoelettrico prima, forte spinta per una verifica sperimentale della congettura

ra dell'allora giovane de Broglie poi) fino alla fine dei suoi giorni non solo attraverso un dialogo continuo e una critica acuta e serrata (soprattutto con Bohr) ma anche con stimoli che continuano ad essere assai fecondi e che ne hanno condizionato tutti gli sviluppi (vedi fra tutti il cosiddetto paradosso di *Einstein, Podolski e Rosen*).

Cercando di schematizzare, vorrei estrarre dal contesto i punti che mi sembrano essere stati i più fecondi del pensiero di Einstein e che mi limito ad elencare:

- a) *la simmetria definisce l'interazione e genera le grandi leggi di conservazione (teorema di Noether);*
- b) *la proposta di unificazione delle forze in fisica;*
- c) *la geometrizzazione della fisica.*

Ognuno di questi punti richiederebbe per conto suo un approfondimento per le strade che ha aperto alla fisica del Novecento ma mi limiterò a discuterli molto brevemente.

a) *La simmetria definisce l'interazione*

L'invarianza di Lorentz era stata scoperta molto tempo prima come conseguenza matematica delle equazioni di Maxwell dell'elettromagnetismo e, secondo Einstein, è stato Minkowski a introdurre l'argomento e a porre per primo la questione dell'invarianza di Lorentz da cui dedurre poi le equazioni di campo ma è chiaro che è stato Einstein a sfruttarne appieno il principio secondo cui

Simmetria → Equazioni di campo.

Forse, si potrebbe discettare se sia stato Einstein il primo in assoluto a utilizzare questo potente mezzo in fisica (dopotutto la teoria di Maxwell è dominata e si potrebbe quasi dire determinata dall'invarianza di gauge) ma, anche se non è stato il primo, certamente Einstein è stato colpito in modo del tutto particolare dalla potenza delle conseguenze delle simmetrie; non per nulla è stato affascinato dal teorema di Noether e ha dichiarato che Emmy Noether era una delle grandi menti matematiche del Novecento. Si può dire che sono state le considerazioni di simmetrie combinate con il principio di equivalenza che lo hanno portato alla relatività generale.

Quello che importa osservare è che la definizione della simmetria come determinante l'interazione, è stata un'intuizione estremamente *feconda* che ha ricevuto una serie di applicazioni nella fisica. Per limitarci agli esempi più conosciuti e più rilevanti, ricordo (scusandomi con i non esperti):

Invarianza per trasformazione delle coordinate → *Relatività generale*
Simmetria di gauge $U(1)$ (Abeliana) → *Elettromagnetismo*
Simmetria di gauge $SU(2) \times U(1)$ (non Abeliana) → *Teoria elettrodebole*
Simmetria $SU_c(3) \times SU(2) \times U(1)$ → *Cromodinamica quantistica*
Simmetria fermione-bosone → *Supersimmetria (SUSY)*.

Vi sono poi altri esempi più specializzati (*supergravità, teoria delle stringhe*) che potrebbero essere ricordati.

b) *L'unificazione delle forze in fisica*

Einstein era stato (a ragione!) particolarmente colpito dalla straordinaria unificazione compiuta da Maxwell di elettricità e magnetismo nella seconda metà dell'Ottocento e nel 1936 scrive «...l'uscita da questa situazione insoddisfacente, attuata dalla teoria di Faraday e Maxwell, rappresenta probabilmente la più profonda trasformazione dei fondamenti della fisica fin dai tempi di Newton». Come conseguenza di ciò, egli impiegò molto tempo a cercare di unificare le due teorie di campo note a quel tempo e nel 1934 scriveva «... esistono due strutture dello spazio tempo indipendenti l'una dall'altra, quella metrico-gravitazionale e quella elettromagnetica... Noi siamo indotti a credere che ambedue i tipi di campo devono corrispondere a una struttura unificata dello spazio».

Oggi noi sappiamo che questo tipo di unificazione non era quello più facile da realizzare se tuttora resta incompiuta (di questo parleremo più avanti, in 3: *Gli "errori" di Einstein*). L'importante è che il messaggio è stato molto, molto fruttuoso (semmai, si potrebbe discutere se non sia stato troppo fruttuoso).

c) *La geometrizzazione della fisica*

Nella citazione del paragrafo precedente ricordavo che Einstein considerava l'elettromagnetismo una *struttura* dello spazio. Era, tuttavia, pienamente consapevole del fatto che l'invarianza di Lorentz da sola non era sufficiente a produrre le equazioni di Maxwell e nel 1950 scriveva su *Scientific American*: «Le equazioni di Maxwell contengono il gruppo di Lorentz ma il gruppo di Lorentz non contiene le equazioni di Maxwell».

La più grande realizzazione della geometrizzazione della fisica è stata la relatività generale e cioè l'idea che gravitazione e meccanica potessero essere descritte in termini di geometria Riemanniana. Non possiamo, è ovvio, che restare alla superficie di questo discorso ma l'idea portante è che, come nello spazio libero da forze gravitazionali un corpo non soggetto a forze si muove in linea retta a velocità costante, in un campo gravitazionale i corpi si muovono su traiettorie curve (chiamate *geodetiche*) perché lo spazio tempo

si curva internamente. Queste linee generalizzano in modo naturale nello spazio curvo le linee rette dello spazio libero. Il problema che egli aveva dinanzi a sé (e che risolse con l'aiuto della geometria di Riemann e del calcolo tensoriale di Ricci) era quello di trovare la geometria interna dello spazio tempo in presenza di corpi celesti, quale è la quantità geometrica che descrive il campo gravitazionale e quali ne sono le equazioni. Ciò che alla fine rende uniche queste equazioni è l'ipotesi che la gravità agisca non solo sulla materia ma anche sulla luce; intuizione questa già espressa da Newton ma che ci porterebbe molto al di là di quanto consentito in questa breve discussione.

Forse uno potrebbe spingersi fino al punto da sostenere che Einstein privilegiò la Meccanica Quantistica nella sua formulazione ondulatoria (piuttosto che in quella matriciale) proprio a causa delle implicazioni geometriche della prima. Ma questa è forse un'ipotesi troppo ardita anche se un supporto parziale potrebbe trovarsi nel calore con cui appoggiò l'ipotesi del giovane de Broglie nel 1923.

2. L'approccio di Einstein alla fisica teorica

Einstein credeva fermamente nel potere della bellezza della matematica, e nel bisogno che la fisica ha della matematica “...il principio creativo risiede nella matematica. In un certo senso perciò, io credo sia vero che il puro pensiero può afferrare la realtà, come gli antichi sognavano” e anche “...la base assiomatica della fisica teorica non può essere estratta dall'esperienza ma deve essere creata liberamente” e ancora “l'esperienza può suggerire i concetti matematici appropriati ma certamente questi non possono essere dedotti da quella”. Per altro lato, egli credeva fermamente nel fatto che la fisica è e deve restare sempre una scienza la cui verifica, in ultima istanza è sempre sperimentale.

3. Gli “errori” di Einstein

Gli *errori* di Einstein (quelli pubblici, ovviamente) si possono dividere in quelli che lui stesso considera tali e quelli che si rivelano tali in retrospettiva. Entrambe le categorie presentano aspetti molto istruttivi.

Fra i primi, ricordiamo solo il forte rimpianto che ebbe per aver scritto su richiesta di Leo Szilard la lettera al Presidente Franklin Delano Roosevelt che fu determinante nel far decollare il *Progetto Manhattan* da cui sarebbero uscite le bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki che avrebbero scatenato l'equilibrio del terrore nucleare (e per le quali, Szilard stesso disse che “*i fisici hanno conosciuto il peccato originale*”). È noto che egli considerò que-

sto come un tragico errore pur nella gravità della situazione nella quale la lettera fu scritta.

Più divertente, un altro *errore* che, come già ricordato, Einstein stesso qualificò come *il più grave della sua carriera* (di scienziato) e cioè l'introduzione del termine di *costante cosmologica* nelle equazioni della Relatività Generale. Erano le equazioni stesse che sembravano richiedere l'introduzione di questa costante per rendere statico l'Universo che le soluzioni dinamiche di Friedmann prima e l'espansione scoperta da Hubble al telescopio Hooker più tardi, nel 1929, avrebbero rimesso in discussione. Il divertente è che le recenti scoperte dell'astrofisica hanno mostrato che, in effetti, l'Universo non solo si espande ma che questa espansione accelera e l'unica via d'uscita finora trovata (ma si stanno percorrendo anche altre strade) è stata quella di ritirare in ballo la costante cosmologica di 70 anni fa! Questo, incidentalmente, ha portato a riproporre la *quintessenza* di aristotelica memoria...

Fra gli errori che si rivelano tali in retrospettiva, forse il maggiore è stato l'aver perseguito per decenni il sogno ricordato sopra di unificazione delle teorie di campo conosciute all'epoca e cioè *gravitazione* ed *elettromagnetismo*. Questo sogno avrebbe portato Einstein ad investire il resto della sua vita in una strada che resta tuttora bloccata. Seguendo il suo esempio, invece l'unificazione dell'*elettromagnetismo* con tutte le altre forze scoperte da allora e cioè con le *interazioni deboli* e con le *interazioni forti* è stata raggiunta la prima con il cosiddetto *modello standard* (o *teoria elettrodebole*) di Glashow, Weinberg e Salam (premi Nobel nel 1979 e per la cui verifica sperimentale Carlo Rubbia ha avuto il Premio Nobel nel 1984) e la seconda con la *Quanto Cromo Dinamica* i cui propugnatori (Gross, Politzer e Wilczek) hanno ricevuto il premio Nobel nel 2004. Questo *errore*, se tale può essere chiamato, è stato straordinariamente fecondo e produttivo anche se non per Einstein.

L'ultimo "*errore*", anche questo foriero di straordinari sviluppi, consiste nella sua costante critica alla Meccanica Quantistica dove siamo, sì, arrivati a riconoscerne la correttezza oltre ogni ragionevole dubbio ma il prezzo pagato è stato quello di dover ammettere che si tratta di una teoria non locale i cui sviluppi sono tuttora aperti e nascono proprio dalle osservazioni e considerazioni fatte nel lontano 1935 da Einstein, Podolski e Rosen con il cosiddetto "*paradosso EPR*".

La conclusione, mi sembra, è che molti dei (pochi) "*errori scientifici*" di Einstein sono stati estremamente fecondi e hanno fortemente contribuito a portare la fisica moderna ai suoi attuali fasti.

BREVE CRONOLOGIA DI ALBERT EINSTEIN

- 1879 (14 marzo ore 11.30) nasce Albert primogenito di Hermann Einstein e di Pauline Koch) a Ulm (al n. 135 di Bahnhofstrasse). Gli E. si trasferiscono a Monaco nel 1880
- 1881 (18 novembre) nasce la sorella Maria (Maja per E.)
- 1884 la prima meraviglia di E. di fronte ad una bussola magnetica
- 1885 comincia a prendere lezioni di violino (che continuerà fino a 13 anni)
- 1886 prima scuola pubblica a Monaco (lezioni di ebraismo a casa)
- 1888 entra al Luitpold Gymnasium (ricostruito dopo la guerra oggi è il liceo A. Einstein)
- 1890 la fase religiosa (durerà un anno)
- 1891 la fase in cui è influenzato da Max Talmud (poi Talmey)
- 1891-95 legge il *Libro sacro della geometria* e si familiarizza con il calcolo
- 1894 la famiglia si sposta in Italia (Milano prima poi Pavia e poi di nuovo Milano) mentre E. resta al liceo a Monaco da cui fugge nell'anno successivo
- 1895 raggiunge la famiglia a Pavia. Nell'autunno fallisce la prova d'ingresso all'ETH di Zurigo malgrado gli ottimi voti in Matematica e Fisica e si iscrive alla scuola cantonale di Aarau e supera gli esami per entrare all'ETH di Zurigo
- 1896 entra all'ETH di Zurigo dove fra i compagni di scuola conosce Marcel Grossmann e Mileva Marič (che sposerà nel 1903). Rinuncia alla cittadinanza tedesca (farà domanda nel 1899 per quella svizzera che otterrà nel 1901 e che manterrà per tutta la vita)
- 1897 conosce a Zurigo Michele Angelo Besso che resterà il suo amico più stretto per tutta la vita
- 1900 riceve il diploma con ottimi voti ma non riceve l'offerta a lavorare come assistente all'ETH che aveva sperato di avere
- 1902 su raccomandazione del padre di Marcel Grossmann, viene assunto all'Ufficio Patenti di Berna come esperto tecnico di terza classe (3500 SF all'anno di stipendio)
- 1903 (6 gennaio) sposa Mileva Marič
- 1904 (14 maggio) nasce Hans Albert primogenito di E. (di una figlia precedente di Mileva ed E., avuta prima del matrimonio, si è persa ogni traccia)
- 1905 17 marzo completa il lavoro sull'effetto fotoelettrico; 30 aprile completa la tesi di dottorato (accettato a giugno); 11 maggio il lavoro sul moto Browniano è ricevuto dagli *Annalen der Physik*; 30 giugno il

- primo lavoro sulla relatività speciale è ricevuto dagli *Annalen der Physik*; 27 settembre il secondo lavoro sulla relatività speciale è ricevuto dagli *Annalen der Physik*; 19 dicembre il secondo lavoro sul moto Browniano è ricevuto dagli *Annalen der Physik*
- 1909 E. è assunto come professore associato all'Univ. di Zurigo (4500 FS all'anno)
- 1910 nasce il secondo figlio Eduard
- 1911 nominato professore a Praga dall'Imperatore d'Austria Franz Joseph
- 1912 nominato professore all'ETH di Zurigo
- 1913 nominato all'Accademia di Berlino ed invitato a Berlino
- 1914 si trasferisce a Berlino con moglie e figli (si separerà nello stesso anno e divorzierà nel 1919). Scoppio della prima guerra mondiale (1 agosto)
- 1916 prima versione sistematica del lavoro sulla relatività generale (*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*)
- 1917 introduce la costante cosmologica
- 1919 Eddington e Crommelin misurano la curvatura della luce durante l'eclissi di sole. A. sposa la cugina Elsa Einstein Löwenthal (2 giugno) e il 6 novembre la Royal Society e la Royal Astronomical Society di Londra annunciano che le misure confermano la teoria di Einstein. Il Times del 7 novembre: *Revolution in science/New theory of the Universe/ Newtonian ideas overthrown*; il "New York Times" del 10 novembre: *Lights all askew in the heavens/Einstein theory triumphs*. La figura di Einstein assume una statura mondiale
- 1920 disordini durante lezioni di E.; muore la madre; confronto con Philipp Lenard
- 1921 primo viaggio negli USA con Chaim Weizmann per ottenere finanziamenti per la Università Ebraica di Gerusalemme
- 1922 riceve il Premio Nobel per il 1921 con la motivazione "for his services to theoretical physics and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect"
- 1923 E. insiste per la verifica sperimentale della formula di de Broglie
- 1932 E. accetta l'offerta di una cattedra all'*Institute for Advanced Study* di Princeton (posto che non abbandonerà più)
- 1933 i nazisti al potere in Germania (30 gennaio). La casa di E. a Caputh è saccheggiata
- 1936 muoiono Marcel Grossmann (7 settembre) e la moglie Elsa (20 dicembre)

- 1939 Maja si trasferisce a vivere con il fratello. Il 2 agosto E. scrive al Presidente Roosevelt per segnalargli le potenzialità militari della energia atomica
- 1944 E. riscrive a mano una copia del suo lavoro sulla relatività che viene venduto per 6 milioni di dollari a Kansas City come contributo a favore della guerra
- 1946 E. sollecita un Governo Mondiale alle Nazioni Unite
- 1948 Mileva muore a Zurigo (4 agosto)
- 1951 muore Maja a Princeton (giugno)
- 1952 viene offerta la Presidenza dello Stato di Israele ad E. che non accetta
- 1955 Besso muore (15 marzo). L'11 aprile, E. manda una lettera a Bertrand Russell in cui si dichiara d'accordo a firmare una petizione per il bando delle armi nucleari. Il 13 aprile si rompe l'aneurisma all'aorta. Il 18 aprile E. muore alle 1.15 di mattina, il suo corpo è cremato il giorno stesso e le ceneri sono disperse al vento.

