

Lorenzo Vasanelli*

ALBERT EINSTEIN ED IL 1905 “ANNUS MIRABILIS”

1. *Premessa*

L'UNESCO ha dichiarato il 2005 “Anno Mondiale della Fisica”. Questa celebrazione non è legata, come spesso accade, all'anniversario di un evento particolare, ma vuole ricordare il 1905 “*annus mirabilis*” in cui Albert Einstein pubblicò sei lavori fondamentali, che oggi, a cento anni esatti di distanza, segnano il passaggio da quella che ora chiamiamo Fisica Classica alla Fisica Moderna. I lavori di Einstein pubblicati nel 1905 introducono alcuni dei concetti della Fisica Quantistica e della Relatività, che costituiscono la base della nostra descrizione dei meccanismi che regolano il funzionamento dell'Universo sia nei suoi aspetti infinitamente grandi (galassie, stelle, meccanismi evolutivi dei corpi celesti) sia nei suoi costituenti fondamentali (atomi, nuclei, particelle elementari e quark). Questi lavori sanciscono infatti l'abbandono del concetto di spazio e tempo assoluto, la visione duale, corpuscolare ed ondulatoria, della radiazione elettromagnetica, la natura quantistica di alcune importanti grandezze fisiche, l'equivalenza tra massa ed energia. La conoscenza scientifica, sviluppata a partire da questi concetti fondamentali, ha permesso quei risultati tecnologici che hanno segnato così drasticamente, nel bene e nel male, i modi di vita dell'uomo del XX secolo.

La figura di Einstein, è entrata nell'immaginario collettivo come

* Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione, Università di Lecce.

l'archetipo dello scienziato; le sue immagini sono riportate su poster di larga diffusione, persino la sua formula dell'equivalenza tra massa ed energia è diventata così famosa da essere riportata su magliette e gadget, ma le sue teorie e soprattutto la teoria della relatività, sono di profondità e difficoltà tali da essere conosciute solo da pochi addetti ai lavori. Si racconta che lo stesso Einstein incontrando Charlie Chaplin abbia osservato: "*Lei è celebre perché tutti comprendono le sue opere, io lo sono perché nessuno le capisce*". Il suo anticonformismo esteriore, che ha sicuramente contribuito alla popolarità della sua figura, non aveva un'origine protestataria, ma era un'espressione genuina di quel rifiuto ad irreggimentarsi e di quella libertà di pensiero, che lo ha portato, nel suo lavoro scientifico, a mettere in discussione criticamente e liberamente i concetti fondamentali alla base della fisica, e nella sua vita pubblica a schierarsi per la libertà, la dignità ed i diritti dell'uomo.

Le teorie di Einstein, pubblicate per la prima volta cento anni fa, pur avendo profondamente influenzato gli sviluppi della fisica e di altre scienze, risultano ancora, in gran parte, riservate agli specialisti e non sono entrate, se non in minima parte, nella conoscenza comune. La fisica, grazie agli avanzamenti delle conoscenze fondate su quelle teorie, nel XX secolo, ha avuto uno straordinario sviluppo ed ha prodotto sconvolgenti progressi tecnologici che hanno profondamente mutato il modo di vivere dell'uomo, incidendo profondamente sulla qualità della sua vita, ma introducendo anche, con le armi atomiche, potenzialità del tutto nuove di distruzioni catastrofiche. Negli ultimi anni della sua vita Einstein ha contribuito attivamente ad avviare la discussione e l'analisi critica sull'influenza della fisica e della scienza in generale, sul futuro dell'uomo e del pianeta e questo ha sicuramente contribuito alla sua popolarità, anche al di fuori degli ambiti strettamente accademici.

2. Le principali tappe del suo lavoro

Einstein nacque ad Ulm, in Germania, nel 1879, in una famiglia di religione ebraica. Dalla madre prese il gusto della musica che lo portò a suonare, sin da piccolo, il violino, mentre dal padre e dallo zio apprese l'interesse per la geometria e per la fisica.

Dopo il liceo in Germania, nel 1895 si spostò in Svizzera dove provò ad iscriversi al Politecnico di Zurigo, ma non riuscì a superare l'esame di ammissione. Dopo un anno alla scuola cantonale di Aarau, riuscì ad entrare

in quel Politecnico. In quegli anni Zurigo accoglieva una comunità cosmopolita di studenti, molti dei quali provenivano da paesi in cui erano presenti regimi politici o sistemi sociali oppressivi. In quegli anni Einstein conobbe la sua futura moglie, Mileva Maric, ed alcuni amici come Conrad Habitch, Michele Besso e Marcel Grossman che sarebbero rimasti suoi amici per tutta la vita. Malgrado tra i suoi professori ci fosse Hermann Minkovski, le cui teorie sullo spazio – tempo giocarono un ruolo importante nello sviluppo della teoria della relatività, Einstein non apprezzava molto gli insegnamenti che gli venivano impartiti al Politecnico, al punto da preferire l'approfondimento dei suoi studi di Fisica da solo e con i suoi amici, in particolare con la futura moglie e con Grossmann che in seguito collaborò molto, come matematico, alla formalizzazione della teoria della relatività.

Einstein prese il suo diploma al Politecnico nel 1900, ma malgrado i suoi buoni risultati ed i suoi sforzi, non gli venne offerta la possibilità di proseguire lo studio e la ricerca. Dovette accontentarsi di fare delle supplenze e nel 1902 ottenne un posto all'Ufficio Federale dei Brevetti a Berna. In quegli anni, malgrado le difficoltà economiche, Einstein, con Mileva Maric, diventata nel 1903 sua moglie, e gli amici Michele Besso, Maurice Solovine e Conrad Halbitch, discusse ed approfondì alcune delle problematiche che sviluppò poi negli anni successivi.

Nel 1901 pubblicò il suo primo lavoro sulla capillarità, ma i suoi interessi si diressero sulla meccanica statistica e la teoria cinetica delle molecole, allo scopo di approfondire alcuni problemi legati alle dimensioni finite degli atomi. Già alla fine del 1901 in una lettera a Milena Mavic, in quel periodo dalla sua famiglia in Ungheria, scriveva che *"mi è venuta un'idea di grande importanza scientifica sulle forze molecolari"* e in un'altra lettera diceva di lavorare su *"una teoria elettrodinamica dei corpi in movimento che promette di diventare un lavoro fondamentale"*.

Nel 1904 scrisse al suo amico matematico Grossmann *"riceverai un mio testo che ho inviato da circa una settimana a Wiedemann per i suoi annali (gli "Annalen der Physik", importante rivista di Fisica che pubblicherà tutti i lavori del 1905). Tu lavori ad una geometria senza l'assioma delle parallele, mentre io ad un calore atomico senza l'ipotesi cinetica"*.

Ecco come Einstein preannunciò al collega ed amico Conrad Habitch i lavori che stava per pubblicare. *"Prometto di inviarti quattro articoli"* scrive Einstein *"Il primo tratta della radiazione e dell'energia luminosa ed è del tutto rivoluzionario. Il mio secondo lavoro discute i metodi per la determinazione delle dimensioni reali degli atomi attraverso lo studio della diffusione e degli attriti interni nelle soluzioni solide. Il terzo prova, dopo*

la teoria molecolare del calore, che i corpi in sospensione in un liquido aventi dimensioni dell'ordine di un millesimo di millimetro, sono soggetti a moti apparentemente aleatori dovuti ai movimenti termici delle molecole. Il quarto lavoro è basato sui concetti dell'elettrodinamica dei corpi in movimento e modifica la teoria dello spazio e del tempo".

Il 17 marzo 1905, a ventisei anni, Einstein inviò alla prestigiosa rivista "Annalen der Physik" il suo primo lavoro, che verrà pubblicato il 9 giugno. Il lavoro intitolato *Su di un punto di vista euristico concernente la produzione e la trasformazione della luce* forniva l'interpretazione di un fenomeno, noto come effetto fotoelettrico, osservato sperimentalmente da Hertz nel 1887, poco dopo aver dimostrato la natura elettromagnetica della luce. Nel 1899 J.J. Thomson aveva mostrato sperimentalmente che l'effetto consiste nell'emissione di elettroni da una superficie illuminata, ma le caratteristiche dell'effetto non potevano essere spiegate sulla base delle leggi dell'elettromagnetismo di Maxwell.

Nel suo lavoro Einstein spiegava l'effetto introducendo un concetto rivoluzionario: la quantizzazione dell'energia scambiata dalla radiazione elettromagnetica con la materia e, più in generale, il comportamento corpuscolare della radiazione elettromagnetica.

L'interpretazione dell'effetto fotoelettrico era rivoluzionaria rispetto alle teorie degli anni finali del secolo XIX, in cui la natura ondulatoria della luce era stata ben dimostrata dai lavori di Young, Fresnel, Fizeau, mentre Maxwell e Hertz, avevano dimostrato la natura elettromagnetica della radiazione luminosa. Infatti il lavoro di Einstein, anche se riprendeva un'ipotesi già avanzata da Planck per spiegare le proprietà dell'emissione termica di radiazione elettromagnetica (il cosiddetto problema del corpo nero), rappresentava una forte discontinuità con la fisica consolidata di quei tempi perché il quanto di energia elettromagnetica, già introdotto da Planck, acquistava con Einstein un significato fisico molto più forte che apriva la strada ad una descrizione corpuscolare della radiazione elettromagnetica, che oggi esprimiamo attraverso il concetto di fotone.

Einstein era ben consapevole del contenuto rivoluzionario della sua teoria e cercò di attenuarne la portata, presentandola come un'interpretazione euristica dell'effetto fotoelettrico. La comunità scientifica non accettò immediatamente la novità del concetto e solamente agli inizi degli anni '20 il concetto di fotone entrerà a pieno titolo nella fisica. Il riconoscimento ufficiale dell'importanza di questa teoria arriverà con l'assegnazione ad Einstein del premio Nobel per la Fisica del 1921 "per i suoi contributi alla fisica teorica e particolarmente per la scoperta della legge dell'effetto fotoe-

lettrico".

Il secondo articolo, inviato nell'aprile del 1905 agli "Annalen", era intitolato *Una nuova determinazione delle dimensioni molecolari* ed in esso veniva discusso il numero di Avogadro e il numero di molecole in un determinato volume. Questo lavoro, che costituiva la sua tesi di dottorato, aveva avuto un iter molto travagliato in quanto il suo relatore, il prof. Kleiner, lo aveva in un primo tempo rifiutato e solo dopo alcune revisioni lo aveva finalmente accettato come tesi. Da un punto di vista scientifico questo lavoro fu molto studiato e risulta uno di quelli maggiormente citati tra tutti quelli scritti da Einstein.

Il terzo articolo era dedicato al moto browniano, cioè al moto incessante e disordinato che piccolissime particelle acquistano in sospensione liquida, come conseguenza degli urti subiti da parte delle molecole in agitazione termica. Il lavoro fu inviato agli Annali nel maggio del 1905 con il titolo *Sul movimento di particelle in sospensione nei fluidi a riposo richiesto dalla teoria cinetica delle molecole*. Il fenomeno era stato già osservato sperimentalmente dal naturalista Robert Brown nel 1827, ma non riusciva a trovare una spiegazione convincente sulla base delle conoscenze fisiche del tempo. Lo stesso Einstein in un primo momento non mise esplicitamente in relazione la sua teoria con il moto browniano perché dichiarava esplicitamente di non avere sufficienti elementi per farlo. In un successivo lavoro, pubblicato alla fine dello stesso anno, approfondì l'argomento formulando una teoria statistica del moto browniano, e suggerendo delle osservazioni che, verificate sperimentalmente con grande precisione da Perrin, consentirono di considerare il moto browniano la prova diretta della struttura molecolare della materia e dell'agitazione termica delle molecole. Il lavoro di Einstein può a pieno titolo ritenersi alla base della fisica atomica e molecolare sviluppata durante tutto l'arco del Novecento.

Il quarto articolo è il testo fondante della relatività. Il lavoro fu sottoposto agli "Annalen der Physik" il 30 giugno del 1905. Il titolo *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento* non rivela del tutto il fatto di costituire la base della teoria della relatività. Il lavoro prendeva lo spunto da una riflessione sui concetti fondamentali, dovuti a Galileo ed a Newton, che erano alla base di quella che ora chiamiamo Fisica Classica. Riconsiderando criticamente le conoscenze della Meccanica newtoniana e dell'elettromagnetismo di Maxwell, in quel lavoro Einstein perveniva ad una nuova definizione delle leggi della Meccanica, fondandole sull'associazione del postulato della relatività, già enunciato da Galileo nel '600, con quello della costanza della velocità della luce. Questa revisione

concettuale liberava la teoria dell'elettromagnetismo dalla necessità di presupporre l'esistenza dell'etere, come mezzo in cui si propagano le onde elettromagnetiche, introdotto per conciliare l'elettromagnetismo con la meccanica newtoniana, ma non confermato da nessuna evidenza sperimentale.

Tre mesi dopo, Einstein sottomise agli "Annalen" il quinto lavoro dell'anno, intitolato: *L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di energia?*. Questo lavoro contiene la famosa equazione che stabilisce l'equivalenza tra la massa e l'energia e la dipendenza delle proprietà cinetiche del corpo dalla sua energia totale.

Nel corso del 1905, a soli 26, anni Einstein fornì alla comunità scientifica una messe di idee rivoluzionarie destinate ad orientare gli sviluppi della fisica negli anni successivi, ma il riconoscimento dei suoi meriti non arrivò immediatamente. Fu Planck il primo a sottolineare alla comunità scientifica tedesca, nel Congresso della Società di Fisica a Berlino, il 23 Marzo 1906, l'importanza dei principi della relatività di Einstein per gli sviluppi della Fisica. A partire dal 1907, anno in cui Planck volle incontrarlo personalmente per discutere di alcuni aspetti dei suoi lavori, Einstein e le sue teorie cominciarono definitivamente ad affermarsi nella comunità scientifica internazionale.

Nel 1909, a trent'anni, Einstein poté finalmente dimettersi dall'Ufficio Bevetti e iniziare la sua carriera accademica che lo vedrà occupare nel corso degli anni prestigiose posizioni accademiche in Europa e, a partire dal 1933, negli Stati Uniti.

La partecipazione al primo congresso Solvay nel 1911 inserì pienamente Einstein ai massimi livelli della Fisica del suo tempo, con l'esposizione della sua teoria del calore specifico davanti a Lorentz, Planck, Poincarè, Marie Curie, Rutherford e gli altri più autorevoli fisici Europei.

Alla fine del 1915 pubblicò il lavoro in cui generalizza i principi della relatività enunciando le equazioni del campo gravitazionale, mentre all'inizio dell'anno successivo pubblicò il lavoro sulle onde gravitazionali che si può considerare all'origine della cosmologia moderna.

Contemporaneamente Einstein portò avanti i suoi lavori sulla radiazione elettromagnetica conferendo al quanto di radiazione anche la proprietà della quantità di moto, rafforzandone il comportamento corpuscolare (dieci anni più tardi il chimico Kewis conierà il termine fotone per indicare questa "particella" che descrive la radiazione elettromagnetica). Il lavoro di Einstein pose le basi per la teoria dell'emissione stimolata della radiazione luminosa che è alla base del LASER, realizzato sperimentalmente solo negli anni '50.

Nel numero del 7 Novembre del 1919 il *Times* di Londra pubblicò con grande evidenza che era stata verificata sperimentalmente, attraverso osservazioni astronomiche, la deviazione dei raggi luminosi per effetto della gravitazione, prevista dalla teoria della relatività. La notorietà di Einstein uscì allora dal circuito ristretto degli specialisti ed entrò nel circuito mediatico mondiale.

Negli anni successivi Einstein confermò il suo ruolo sempre più importante nella fisica europea, anche se, con il montare in Germania degli atteggiamenti antisemiti, venne fatto oggetto di attacchi personali. Cominciarono in quegli anni i suoi rapporti con gli Stati Uniti, dove cominciò a trascorrere periodi sempre più frequenti fino a trasferirvisi definitivamente nel 1933, a causa della promulgazione delle leggi antirazziali in Germania. La sua fama era ormai talmente grande da essere invitato da Roosevelt alla Casa Bianca al suo arrivo negli Stati Uniti.

La sua attività scientifica da allora proseguì nella prestigiosa Università di Princeton, concentrandosi principalmente attorno al problema di una grande teoria unificata che comprendesse sia la teoria della gravitazione che quella dell'elettromagnetismo. Purtroppo questo tentativo non ebbe successo e questa grande unificazione ancora oggi rimane il principale obiettivo della fisica.

Einstein si spense all'età di 72 anni, il 18 aprile del 1951.

3. *L'impegno civile*

La figura di Einstein non emerse soltanto per la sua attività di fisico, ma anche per il suo impegno civile, in un periodo storico contraddistinto da una parte dalla barbarie di regimi antidemocratici che si basavano sull'odio razziale e sulla negazione dei diritti civili e delle libertà fondamentali, e dall'altra da una scienza che, conquistando spazi mai conosciuti prima, metteva a disposizione dei Governi armi sempre più micidiali che avrebbero potuto comportare conseguenze catastrofiche. L'impegno civile di Einstein accompagnò costantemente il suo lavoro di scienziato anche se diventò particolarmente importante negli ultimi anni della sua vita.

La prima manifestazione del suo impegno civile avvenne già nel 1914, quando, insieme a G.F. Nicolai e W. Forster, scrisse un contromanifesto che si opponeva al manifesto sottoscritto da 93 intellettuali tedeschi di adesione alla guerra.

Nel 1935, riflettendo sul ruolo della scienza nella società moderna, sottolineava il fatto che la scienza e gli sviluppi della tecnica ad essa collegata, liberano l'uomo dall'eccessivo lavoro muscolare, alleviandone le sofferenze e migliorandone gli stili di vita. Sottolineava Einstein che *“la tecnologia, o scienza applicata, ha posto l'uomo di fronte a problemi di estrema gravità. La sopravvivenza stessa dell'umanità dipende da una soddisfacente soluzione di tali problemi. Si tratta di creare un tipo di istituzioni e di tradizioni sociali senza la quale i nuovi strumenti porteranno inevitabilmente ad un disastro della peggior specie”*.

Si ritrovano in questo passo alcuni dei temi fondamentali dell'impegno civile di Einstein, i pericoli di un uso dissennato della scienza e la necessità di un governo del mondo che superi le divisioni e gli egoismi, e, con gli strumenti della ragione, ponga al centro della sua azione la difesa dell'uomo. Questo timore delle conseguenze catastrofiche che possono derivare dalla scienza è tanto più significativo se lo inquadrriamo in quei tempi in cui lo studio delle proprietà microscopiche della materia ancora non permetteva di valutare compiutamente la straordinaria quantità di energia che sarebbe stato possibile liberare con i processi nucleari.

Nel 1939, alla vigilia della seconda guerra mondiale, dopo la scoperta della fissione nucleare, Bohr sottolineò che la reazione a catena poteva mettere nelle mani degli uomini una fonte di energia incomparabile rispetto alle forme tradizionali già note. Questo spinse Einstein, insieme a Szilard, Wigner e Teller, a sottoscrivere una lettera, inviata al Presidente degli Stati Uniti Roosevelt, in cui veniva preannunciata la possibilità di utilizzare l'energia dell'atomo a fini militari. In quella lettera, datata 2 agosto 1939, Einstein scriveva: *“Credo sia mio dovere portare alla vostra attenzione il fatto che è ormai possibile costruire una bomba di tipo nuovo estremamente potente”*. Il timore che gli scienziati tedeschi, che tanta parte avevano avuto negli sviluppi della fisica moderna, potessero mettere nella mani del regime nazista una nuova arma di grande potenza, preoccupava notevolmente chi aveva provato direttamente sulla propria pelle la barbarie di quel regime. Si può immaginare facilmente il dramma che poteva suscitare la necessità di orientare alla guerra ed alla distruzione una ricerca nata per il desiderio di svelare le proprietà fondamentali della materia nelle sue diverse forme, in chi, già in tempi non sospetti, aveva fatto scelta di convivenza pacifica e di prevalenza della ragione,

Quella lettera attirò l'attenzione del governo degli Stati Uniti verso l'uso militare dell'energia atomica, e portò, il 17 settembre 1942, dopo l'attacco giapponese a Pearl Harbour e l'entrata in guerra degli Stati Uniti,

all'avvio del progetto Manhattan. Sotto la guida di Robert Oppenheimer, fu sviluppata un'intensissima attività di ricerca che si concluse con lo scoppio della prima bomba sperimentale ad Alamogordo il 16 luglio 1945 e alle due esplosioni di Hiroshima e di Nagasaki rispettivamente il 6 ed il 9 agosto 1945, che chiusero il secondo conflitto mondiale.

Gli straordinari sviluppi della fisica del '900, basati anche sugli studi di Einstein, svelando i meccanismi che tengono insieme i costituenti primi della materia, avevano determinato una nuova straordinaria capacità di distruzione, addossando sugli scienziati una responsabilità che mai prima avevano avuto. Einstein colse profondamente questo mutamento importante nel ruolo della scienza e dello scienziato nella società moderna e fu uno dei primi a sottolineare quali dovevano essere i veri obiettivi della ricerca scientifica. In quegli anni Einstein ammoniva così gli scienziati: *“La preoccupazione per l'uomo e per il suo destino deve sempre costituire l'interesse principale di tutti gli sforzi dell'attività scientifica. Non dimenticatelo in mezzo ai vostri diagrammi ed alle vostre equazioni”*.

Pochi giorni prima della sua morte insieme a Russell, Einstein lanciò il manifesto che invitava a superare, nel nome della ragione, le fratture che la bomba atomica aveva aperto nella convivenza umana.

Il manifesto Russell – Einstein, che sanciva il principio della responsabilità degli scienziati sulle conseguenze delle proprie invenzioni, fu alla base di quell'importante iniziativa, nota come conferenza di Pugwash, che, dal luglio 1957 in poi, vide i più importanti scienziati riunirsi ogni anno in quella cittadina della Nuova Scozia, in Canada, per approfondire la discussione sui rischi dell'energia nucleare e per orientare i governanti ad assumere misure concrete per la non proliferazione e per la riduzione degli armamenti nucleari. Questa importante iniziativa ha accompagnato gli anni della guerra fredda e dell'equilibrio nucleare, fino a vedere avviarsi il processo inverso di riduzione degli armamenti nucleari. Nel 1995, cinquantenario dell'esplosione di Hiroshima, le Conferenze di Pugwash e Joseph Roblat, uno degli undici scienziati sottoscrittori del manifesto e principale animatore delle Conferenze, furono insigniti del premio Nobel della pace.

4. Conclusioni

A cento anni dall'avvio della straordinaria carriera scientifica di Albert Einstein rimane un incredibile patrimonio di idee che non ancora smesso di produrre ulteriori sviluppi, che in alcuni casi attendono ancora conferme

sperimentali, ma che comunque tracciano una strada aperta da proseguire ulteriormente.

La profondità del suo pensiero e della riflessione sui concetti fondamentali ha posto importanti problemi sul rapporto tra scienza ed epistemologia, tra le leggi fondamentali della realtà fisica ed il nostro modo di percepirle e di descriverle. Da questo punto di vista è esemplare la contrarietà di Einstein all'impostazione probabilistica della moderna teoria quantistica, che, malgrado gli innumerevoli successi nel descrivere il mondo microscopico, aveva sempre disturbato il suo desiderio di una descrizione pienamente razionale e deterministica dei fenomeni naturali.

Pur avendo vissuto solo gli albori delle problematiche legate alla scoperta dell'energia nucleare, Einstein è stato uno dei primi scienziati a cogliere ed a porre con forza il problema del rapporto tra sviluppo delle conoscenze e progresso tecnologico, dell'uso positivo o negativo delle tecnologie, del ruolo della scienza e dello scienziato nella società moderna. Queste problematiche hanno acquistato in questi anni un'attualità ancora maggiore, estendendosi dalla Fisica alla Chimica, alla Biologia ed alla Medicina, man mano che il progresso tecnologico ha pervaso ambiti sempre più vasti della vita dell'uomo moderno.

I cento anni trascorsi dal 1905 ci consegnano un'eredità di pensiero importantissima e vitale, che ci chiama ad un impegno profondo di riflessione e ad un approfondimento a tutto campo, dalla conoscenza della natura e delle sue leggi fondamentali, ai processi della conoscenza, al futuro dell'uomo e della società.