

Che ti importa di ciò che dice la gente

Ricky Feynman, premio Nobel

dalle formiche di Los Alamos alla QED

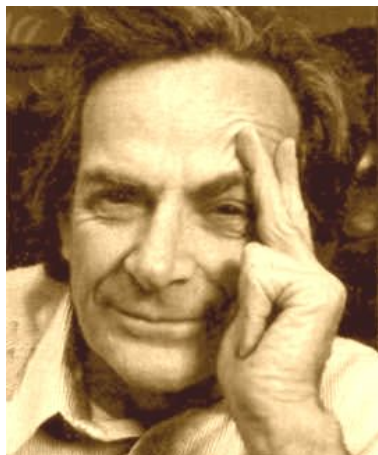
di **Claudio Cereda**

il titolo

La scelta di parlarvi di Feynman è legata al fatto che quest'anno cade il ventesimo anniversario della sua morte (15 febbraio 1988).

Feynman è secondo me, ma anche secondo molti, il più grande fisico del Novecento (dopo Einstein), ma è stato anche un grandissimo docente e un personaggio assolutamente *fuori dalle righe*.

Che t'importa di cosa dice la gente, la frase di Feynman che ho inserito nel titolo di questa conferenza, non significa, come vedremo, che ciascuno deve fare quel che gli pare, ma significa che *tu devi ascoltare le persone, prendere atto di ciò che dicono, valutare ciò che ti hanno detto e comportarti di conseguenza, e soprattutto non adeguarti mai alle regole del quieto vivere*. Lui parla di questa cosa per la prima volta discutendo con quella che diventerà sua moglie e che è l'unica donna veramente importante della sua vita, la prima moglie (si è sposato tre volte), morta di cancro mentre lui lavorava a Los Alamos.



Tornando al mio titolo, *dalle formiche di Los Alamos alla QED* contiene in realtà una inesattezza. Le formiche non erano di Los Alamos ma di Princeton, cioè dell'Università presso cui ha lavorato prima di andare a Los Alamos. Si tratta di un episodio che testimonia come il nostro personaggio amava indagare la natura sempre e comunque. Quando in camera a Princeton si è trovata un'invasione di formiche che gli stavano saccheggiando la dispensa, invece di fare ciò che ciascuno di noi farebbe per ucciderle, si è messo a studiare il loro comportamento e si è liberato di loro senza ucciderne nemmeno una.

La QED è il suo contributo scientifico principale, per il quale ha avuto il premio Nobel. QED è un acronimo e sta per Quantum Electrodynamics: l'Elettrodinamica Quantistica, o *teoria quantistica dei campi*, è la teoria con cui si fondono in maniera completa, non parziale come era stato prima, la meccanica quantistica e la teoria della relatività ed è la teoria che sta alla base di tutte le teorie successive della fisica teorica, quelle su cui si fonda il modello standard delle particelle.

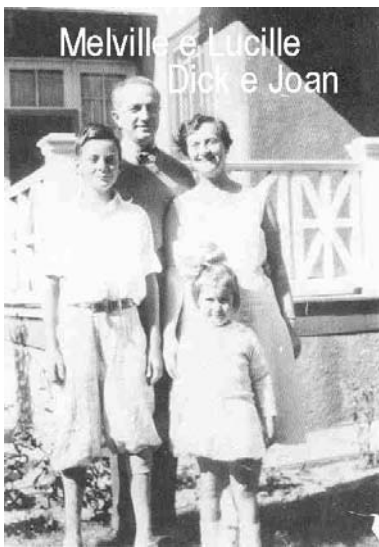
Il giovane Feynman che aggiusta le radio col pensiero

Feynman nasce l'11 maggio 1918 a New York: è un newyorkese nel vero senso della parola, con lo slang e l'umorismo della città. La madre (il cui cognome, Phillips, compare nel nome completo Richard Phillips Feynman) è figlia di un orafo di origini polacche che si era arricchito a New York. Far Rockaway è il posticino sul mare (vicino all'aeroporto Kennedy) dove lui è vissuto da piccolo, dopo essere nato in ospedale (negli Stati Uniti si nasceva in ospedale già agli inizi del Novecento, a differenza dell'Europa).

Sono in 4 in famiglia. Il padre, Melville, gioca un ruolo fondamentale nella sua formazione. E' un venditore di uniformi, ebreo, di origini bielorusse, nato a Minsk ed arrivato negli Stati Uniti quando aveva 5 anni, quindi un immigrato di prima generazione di ascendenze europee. Richard adora il padre che gli insegnerà l'amore per la conoscenza scientifica.



Cominciamo con una prima citazione che capita in un giorno brutto, che ha a che fare con quanto successo in questi giorni all'Università la Sapienza. Avevo deciso che di questa cosa vi avrei parlato e ve ne parlo lo stesso, anche se è successo l'episodio del Papa. La è presa da una delle due sue



biografie, *Che t'importa di ciò che dice la gente*, edito da Zanichelli. E' un episodio in cui il padre parla al figlio di come comportarsi rispetto al principio di autorità; è così che Feynman racconta di se stesso e di questo padre:

Sfogliavamo insieme il New York Times. Una volta capitò una fotografia del Papa con tutta la gente che gli si inginocchiava intorno.

“Guarda tutti questi essere umani –disse mio padre- qui c'è un essere umano in piedi e tutti gli altri stanno in ginocchio davanti a lui. Dov'è la differenza? Questo qua è il Papa. La differenza sta nel vestito. Se si trattava di un generale indicava le spalline, la differenza era sempre l'abito, la divisa, la posizione. Ma quest'uomo ha gli stessi problemi di chiunque altro, mangia a cena, va in bagno, è un essere umano”.

A proposito, mio padre vendeva uniformi, quindi sapeva la differenza fra un uomo con e senza uniforme. Però lui era sempre lo

stesso uomo.

Questo è uno dei primi insegnamenti che questo ragazzino riceve dal padre e a me è venuta in mente una cosa su quello che è successo nei giorni scorsi. Quando ho sentito le prime polemiche su quello che stava succedendo all'Università di Roma mi sono chiesto: “Sarà casuale che in tutta questa bagarre ci siano di mezzo dei fisici?”

Incidentalmente, a differenza di quanto hanno detto in televisione, non si tratta di fisici qualunque: uno dei firmatari è Luciano Maiani, ex presidente del Cern, ex presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, personaggio che è andato vicinissimo al Premio Nobel per la scoperta di alcuni dei Quark di cui oggi sappiamo molto.

Il problema vero, secondo me, non è la vicenda di Galilei, ma quello che i fisici pensano della conoscenza scientifica, non i *fisici clericali, anticlericali, filoclericali*, ma i fisici in genere: c'è nel DNA della fisica l'idea di sfidare gli dei. I fisici sono i Prometeo del XX secolo, e il fatto che in questa loro sfida per la conoscenza hanno acquisito faticosamente alcune cose tra cui l'idea della *provvisorietà del sapere*, del fatto che *vale la pena di ricercare sapendo valori e limiti della conoscenza*. I fisici non sopportano chi dice che avere un atteggiamento relativista di fronte alle cose è uno dei più grandi omicidi del XX secolo. I fisici dicono: *noi attraverso il relativismo educiamo alla libertà*. E' questo l'oggetto vero del contendere, l'elemento su cui ci si differenzia.

Feynman riceve questo insegnamento da un padre di cui è molto orgoglioso, perché la prima cosa che il padre gli insegna è un'idea di conoscenza scientifica che è l'esatto contrario del nozionismo. Feynman è un ragazzino, gioca per i giardini di

Manhattan e un amichetto gli dice: “Lo vedi quell'uccello? Lo sai che uccello è?” e Richard risponde: “Non ne ho la più pallida idea” e l'altro: “E' un tordo dalla gola marrone. Ma il tuo papà non ti insegna proprio niente?” Era esattamente il contrario. Lo vedi quell'uccello?-diceva mio padre- E' l'usignolo di Spencer. Sapevo che non ne conosceva il nome corretto..... Puoi saperne il nome in tutte le lingue del mondo, ma quando l'hai imparato non sai assolutamente



niente dell'uccello. Saprai qualcosa degli uomini nei vari posti, il nome che essi danno all'uccello. Guardiamolo invece per vedere cosa sta facendo, è questo che conta”.

Apprezzi molto presto la differenza tra conoscere il nome di una cosa e guardare una cosa. Per esempio mi diceva: “Guarda quell'uccello, continua a beccarsi le piume. Vedi come le liscia col becco mentre cammina?” “Sì” “Secondo te perché lo fa?” “Magari gli si spettinano le piume mentre vola, allora le becca per rimetterle a posto” “Se fosse come dici tu, lo farebbe soprattutto appena dopo aver volato. Dopo essere rimasto per un po' a terra la smetterebbe. Capisci cosa voglio dire?” “Sì” “Vediamo allora se se le liscia di più dopo aver toccato terra”. Non era difficile, ma non c'era molta differenza tra gli uccelli che avevano camminato per un po' e quelli appena tornati a terra. “Mi arrendo: perché l'uccello si liscia le piume?” “Perché - rispondeva mio padre - gli danno fastidio i pidocchi che mangiano le squame di proteine venute via dalle piume. I pidocchi hanno sulle zampe una sostanza cerosa – mi spiegava – che viene mangiata da alcuni piccoli acari. Ma gli acari non la digeriscono perfettamente e quindi dall'estremità del corpo emettono una sostanza simile allo zucchero sulla quale crescono dei batteri” E concludeva: “Vedi? Ovunque ci sia una fonte di cibo, c'è una qualche forma di vita che la scova”.



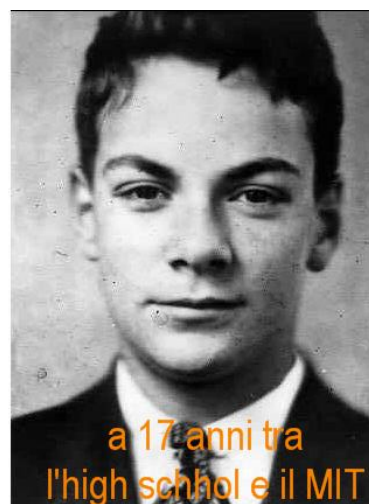
Richard va avanti nel raccontare la sua educazione a conoscere mediata dal padre e alla fine conclude che lui era convinto che anche gli altri bambini avessero un padre come il suo, ma poi si accorse che gli altri bambini non avevano un padre così. Questo ha fatto la differenza e gli ha trasmesso il gusto per la sperimentazione. Lui ci racconta un episodio in questo libro, in un capitolo intitolato *Quel ragazzo ripara le radio col pensiero*. E' stato uno dei suoi grandi successi, aveva 11-12 anni e si dilettava di sperimentazione di vario genere; per esempio racconta che da un

milliamperometro si era fatto, mettendoci resistenze e condensatori, un piccolo tester (oggi queste cose si comprano a dieci euro dalla tecnologia cinese, allora invece si facevano); in cantina andava a combinarne di tutti i generi.

C'è un signore che lo chiama perché ha una radio che quando viene accesa emette dei fischi allucinanti per alcuni secondi e poi improvvisamente si mette a funzionare (teniamo presente che siamo più o meno nel 1931 o 32, e le radio sono rudimentali e piene di problemi).

Lui comincia a passeggiare e a pensare. Le radio erano fatte tutte grosso modo con gli stessi componenti e funzionavano a più stadi in cascata. Il componente-base era un tubo a valvola o *triodo* con un filamento metallico che si doveva scaldare prima del funzionamento. Feynman ipotizza che quel fischio tremendo che si sente sia dovuto al fatto che c'è una fase in cui lo stadio finale della radio, quello di amplificazione, funziona mentre l'apparato rivelatore da cui deve arrivare l'informazione non funziona ancora.

Se il fischio è dovuto a un componente che va in esercizio prima, e se i componenti sono tutti gli stessi, cosa conviene fare? ...e riflette mentre il padrone della radio lo guarda e gli chiede che cosa stia facendo invece di aggiustare la radio. “Sto pensando” risponde Feynman. E qual era il pensiero? Se le due valvole sono uguali, ma una si accende prima, se il rumore deriva dalla accensione anticipata dello stadio finale basterà



invertire due di queste valvole uguali (quella anticipata e quella ritardata).

Stacca la valvola dello stadio finale, la mette al posto di quella deputata alla preamplificazione, improvvisamente si sente un grande silenzio e poi la radio comincia a funzionare.

Questa è una delle cose che gli hanno dato ovviamente un grande successo che lui racconta con un certo orgoglio, così come racconta con orgoglio della sua prima invenzione per fare un piccolo antifurto in casa: un vecchio accumulatore da automobile, un circuito di amplificazione a valvola e uno stadio finale di una radio e poi un contatto, perché il problema è come comandare l'antifurto.

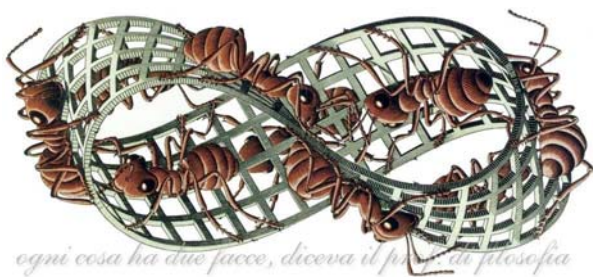
Lui, brutalmente, usa un filo attaccato alla porta che quando la sposti va a finire contro l'alimentatore e tutto si accende. Racconta con orgoglio della prima volta in cui i genitori rientrano dal cinema e vanno in camera per salutarlo e lui salta dal letto gridando: *Funziona, funziona!*

Oppure di quando sfrutta dei piccoli trucchi per captare radio che emettevano programmi da grande distanza e si ritrova con altri per ascoltarli il che gli consentiva di anticipare la notizia trasmessa:

Ricky prevede il futuro.

Fino a 14-15 anni la sua gioventù è tutta basata sul giocare con la conoscenza, sullo sperimentare molto. L'episodio delle formiche di Princeton, che riguarda gli studi di dottorato (circa 21 anni), è esemplare.

Dalle formiche alla filosofia



ogni cosa ha due facce, diceva il primo dei filosofi

Avrà sempre per tutta la sua vita il desiderio di studiare le cose che non conosce, perché a guardare il mondo c'è sempre qualcosa da imparare. Nel caso delle formiche, non si limita a liberarsene osservandone il comportamento sino a disorientarle e farle andare altrove. Scopre una serie di altre cose interessanti. Per esempio, quando le formiche si muovono in gruppo e vanno a prendere del cibo e

poi ritornano, lasciano lungo la traiettoria un messaggio parziale che consente di ottimizzare i percorsi. Oppure durante il ritorno le formiche vanno più veloci che all'andata; o il fatto che hanno la capacità di ottimizzare gradualmente le traiettorie perché al ritorno vanno più veloci, frenano di meno e per inerzia tendono a raddrizzare il percorso.

Questa caratteristica sarà presente in Feynman tutta la vita: a Los Alamos era nel gruppo che cercava di capire come fare per ottenere la *massa critica* che poi fa scoppiare la bomba, e quindi stavano facendo i calcoli legati a quanto rapidamente bisognasse fare una certa cosa, quanto uranio arricchito ci volesse e così via, e questi conti venivano fatti inizialmente con calcolatrici meccaniche e poi negli ultimi tempi con le nuovissime calcolatrici IBM a schede perforate (le antenate del computer).

Lui inventa in quel periodo l'idea del *calcolo parallelo*: hanno dei tempi strettissimi per fare questi conti di tipo sequenziale, noiosi, in cui basta un piccolo errore per dover ricominciare da capo, si rende conto che ci sono delle latenze e inventa questa cosa che oggi è utilizzata in tutti i supercalcolatori, cioè l'idea che si facciano andare più processi contemporaneamente.

Il suo rapporto con la filosofia è molto bizzarro, e, cosa che vale per molti scienziati americani, noi europei diremmo che è un rozzo, perché semplifica un po' troppo le cose.

Lui e la futura moglie Arlene sono ancora studenti di liceo. Si trovano per ripassare alcune cose su Cartesio. L'affermazione di Cartesio "Cogito ergo sum" dovrebbe significare che una sola cosa non può essere messa in dubbio, il dubbio appunto;



1939 - in biblioteca a Princeton

Ricky: *ma perché non lo dice chiaro e tondo, protestai; significa in qualche modo che almeno un fatto lo sa per certo.*

Arlene: Io posso soltanto immaginare pensieri imperfetti ma l'imperfezione si può capire solamente in riferimento alla perfezione, quindi la perfezione da qualche parte deve esistere ...

Niente affatto, dico io. Nella scienza –tenete presente che ha 17 anni, quando dice questo – si può parlare di livelli relativi di approssimazione senza avere una teoria perfetta. Non so di cosa stia parlando. E' tutta aria fritta.

Immagino che si possa considerare anche dall'altro punto di vista- disse lei. Il mio professore di filosofia dice sempre che ogni questione ha due aspetti, così come un pezzo di carta ha due lati. *Veramente anche questa affermazione ha due aspetti.* E gli viene in mente una cosa che ha letto nell'Enciclopedia Britannica: il nastro di Möebius dimostra che non è vero che ogni cosa ha due facce (si veda la figura).

Questo atteggiamento di Feynman è molto provocatorio: vuole sottolineare che nella conoscenza scientifica bisogna evitare di parlare a vanvera. E c'è un episodio molto più complesso che riguarda un dibattito che gli capita di sentire quando sta facendo il dottorato a Princeton, un dibattito tra filosofi intorno alla definizione di *concetto essenziale* in Whitehead. C'è tutto un dibattito bellissimo e lui va là e discute con loro e poi comincia a fare delle domande; siccome vuole sapere se hanno capito che l'elettrone oltre che un oggetto è un concetto, cioè una costruzione teorica, la prende da lontano, e siccome non è sicuro di cosa intendano per oggetto essenziale, comincia a fare domande del tipo: *ma un mattone è un oggetto essenziale? E se tiro via la crosta del mattone, quello che c'è sotto la crosta è un oggetto essenziale? E così via, una serie di cose molto carine.* Chiudo con la filosofia ricordando una affermazione molto più tarda che sta nel libro *"Il piacere di scoprire"* e che riporta una intervista radiofonica in cui si parla di Leibniz e di Spinoza.

Nelle sue conferenze, quelle che sono state pubblicate, appaiono varie critiche ai commenti dei filosofi sulla scienza.

Non è la filosofia che mi irrita: è la pomposità. Se solo ridessero un po' di se stessi! Se solo dicessero: Io penso sia così, ma Leibniz pensava che fosse in quel modo e anche la sua è una buona idea. Se spiegassero che si tratta delle loro supposizioni migliori, ma pochissimi lo fanno. Al contrario colgono al volo la possibilità che non vi sia l'ultima particella fondamentale per dire che dovremmo fermarci a riflettere. Non avete riflettuto abbastanza a fondo, lasciate che sia io a definire il mondo per voi. Bene, io continuerò a indagare senza definirlo.

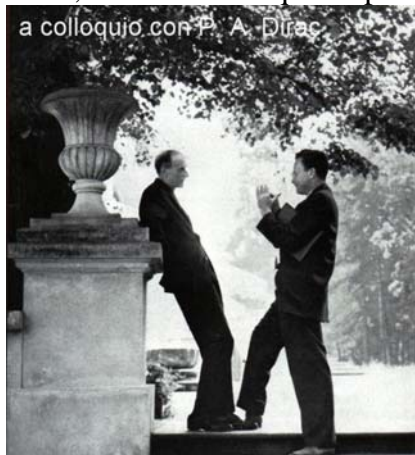
Se mi è concessa una battuta, ieri sera seguendo alla tv Bruno Vespa ho sentito una frase del genere. C'erano Buttiglione e Odifreddi uno di fronte all'altro, ed alcuni fisici famosi alcuni dei quali si occupano di filosofia della scienza da una vita. Buttiglione spiegava a queste persone, che si occupano da una vita dei problemi dell'interazione tra scienza e riflessione sulla scienza, che dovrebbero leggere Feyerabend e Kuhn, come se quelli che c'erano lì non l'avessero mai letto. E' arrivato al punto di spiegare a Odifreddi, che è il curatore delle opere di Gödel, che doveva leggere Gödel! Ovviamente a questo punto Odifreddi è scoppiato a ridere.

Guardate che questa questione dei buoni consigli dati alla scienza è molto antica e molto seria. Qual è il problema? Ve lo dice una persona che si occupa di filosofia della scienza da quando era ragazzo. Molto spesso leggendo le opere dei filosofi della scienza ci si rende conto che la maggior parte di quelle cose non hanno niente a che fare con la scienza vera, nel senso che vengono costruite cercando un esempio, e intorno a quell'esempio fare una riflessione metodologica, quando la dinamica della conoscenza scientifica è in realtà molto ma molto ma molto più complessa e spesso non si lascia ingabbiare dalle regole del metodologo.



Feynman burlone

Parliamo ora del Feynman burlone. Ce ne sarebbero tante da raccontare, mi limito ad una. Questa volta è studente all'MTI, ha finito l'high school, ha tra i 17 e i 21 anni. C'è una camerierina (a Feynman le donne sono sempre molto piaciute) che gli piace, ma ha un difetto, va sempre troppo di corsa, allora inventa questo piccolo gioco.



Le lascia, lui studente squattrinato, una mancia sul tavolo, ma in maniera strana: prende due monete da un dollaro, le mette ciascuna in un bicchiere, li riempie d'acqua, ci mette sopra un coperchio, gira il bicchiere, lo deposita sul tavolo, toglie il coperchio in modo che poi l'acqua non può uscire e lascia lì quelle due monete da un dollaro dentro il bicchiere pieno d'acqua. Perché due? Perché se ne avesse messo una sola, la cameriera sempre di corsa avrebbe sparecchiato, rovesciato l'acqua, preso la moneta e se ne sarebbe andata, mentre essendocene due, dopo aver rovesciato l'acqua del primo bicchiere, vedendo l'altro sarebbe andata in crisi.

E infatti così succede. Il giorno dopo lui torna al ristorante ma la sua cameriera preferita non c'è; chiede alla sua sostituta dove sia, e lei gli risponde che quella cameriera è molto arrabbiata con lui per quello che è successo. Dopo aver rovesciato il primo bicchiere, la cameriera non sapeva come fare per prendere il secondo dollaro, si era consultata col principale, ma nessuno aveva avuto l'idea giusta; alla fine rovescia anche l'acqua del secondo bicchiere, scivola sul pavimento bagnato, picchia il naso e quindi si arrabbia moltissimo.

Feynman allora le spiega che avrebbero potuto prendere un catino, spingere il bicchiere fino all'orlo del tavolo, far uscire l'acqua nel catino e prendere il dollaro. Quella sera stessa lui prende una tazzina da caffè, ci mette sotto un dollaro e lo lascia così com'è. Torna il giorno dopo, questa volta la cameriera arrabbiata con lui è la seconda, che gli chiede perché le abbia lasciato la tazzina in quel modo, senza l'acqua. Certo -risponde Feynman-, volevo solo lasciarti una mancia!

Questa storia del Feynman burlone fa da contraltare al personaggio che si comporta in maniera non burlonesca ma altrettanto positiva quando tratta di fisica. La fisica e il principio di autorità, una delle grandi *vexatae questiones*.

Ho un episodio personale che vi voglio raccontare, un episodio del 1968. Finita la prima occupazione, sarà stato marzo-aprile del 68, terzo anno di Fisica, lezione di Elettronica. Avevamo finito la parte circuitale, era iniziata la parte di fisica dello stato solido, i semiconduttori, le giunzioni, i livelli di Fermi e via andando. Il docente di Elettronica era l'unico docente di Fisica di Milano che aveva accettato di interloquire con gli studenti, il prof. Degli Antoni, che poi ha fondato il corso di laurea in Scienza dell'Informazione.

Sta spiegando queste cose, finisce la spiegazione di uno di questi processi dei buchi che diffondono o non diffondono e delle probabilità connesse, io alzo la mano e dico: "Guardi che la spiegazione non la trovo convincente" e cerco di argomentare. Risposta di Degli Antoni: "Ma questa spiegazione è quella data da Enrico Fermi".

Eravamo nel marzo 1968, e io gli ho detto: "E chi se ne frega! Se le dico che non è convincente lei non mi deve rispondere dicendomi che l'ha data Enrico Fermi, ma entriamo nel merito del perché non è convincente!"



Così io e Degli Antoni siamo diventati amici e poi è stato il mio relatore di tesi di laurea. Feynman aveva un atteggiamento di questo genere, e racconta nella sua biografia due episodi importanti, il primo con Bethe, che era stato il suo maestro nella fase del dottorato. Racconta che quando erano a Los Alamos ed aveva bisogno di ragionare, Bethe chiamava lui perché era l'unico in grado di dirgli che cosa non risultava convincente nel suo ragionamento, che è il modo normale di discutere anche quando si è tra un "grande" e un "piccolo".

Perché il problema è che quando si fa lavorare la parte creativa delle nostre funzioni cerebrali, non è che si può aver chiaro ogni passaggio di quello che ci frulla per la testa: aver di fronte un *interlocutore vero* che mi fa delle *obiezioni vere* è una cosa che aiuta a crescere. Incidentalmente, Bethe è quello del ciclo carbonio-azoto delle stelle, Premio Nobel anche lui, è quello che ha scoperto i meccanismi di funzionamento dell'energia a livello dell'universo e ai quei tempi era molto più importante di Feynman, ovviamente. La stessa cosa la farà Bohr sempre a Los Alamos perché ha bisogno di confrontarsi con uno spirito libero.

Fisici e militari

Feynman sta a Los Alamos grosso modo dal 1942 al 1945, mentre la moglie sta in sanatorio ad Albuquerque. Torniamo un attimo indietro sulla storia di Richard e di Arlene. I due si innamorano a 17 anni all'incirca e quando lui ha finito l'MIT e deve trasferirsi a Princeton, emerge il problema di salute di Arlene: si gonfiano alcuni linfonodi, è una tubercolosi ghiandola (siamo circa nel 39/40, Arlene morirà nel 45).

Arlene muore perché non sono ancora in uso gli antibiotici; la streptomina che è l'antibiotico elettivo per la cura della tubercolosi verrà sperimentato seriamente da un paio di mesi dopo la sua morte. La frase "Che t'importa di cosa dice la gente" si costruisce intorno alla loro vicenda umana e sentimentale.

Salta fuori questo disturbo ghiandola, i medici ipotizzano che potrebbe essere un linfoma di Hodgkin, lui si documenta sui sintomi e capisce che la malattia che corrisponde ai sintomi di

Arlene potrebbe essere una tubercolosi, ma si tratta in questo caso di una diagnosi troppo banale. E così tutti, compreso Richard, che pure ha letto che potrebbe essere una tubercolosi, si convincono che è un linfoma di Hodgkin.



Naturalmente scatta la segretezza tipica dei casi di cancro: tutti devono sapere tranne il diretto interessato. Richard è disperato di fronte a questa cosa, e messo alle strette da tutti, dai propri genitori, dai genitori di lei, dalla sorella minore, si convince a mentire; di fronte alla domanda di Arlene, le risponde che ha un'infezione ghiandola.

Poi le scriverà una lettera d'addio, dicendo che le ha mentito e che quando scoprirà questa cosa lo maledirà. Il rapporto tra i due prosegue intorno a questa faccenda; ad un certo punto lei sente i genitori parlare a bassa voce della sua malattia e scopre la verità, va da Richard, gli fa la domanda, lui confessa, e lei, invece che mandarlo al diavolo, gli ricorda: Ci eravamo promessi il "Che ti importa di cosa dice la gente". Dovevi dirmi la verità anche perché chissà come avrai sofferto nell'essere costretto a non dirmi il vero! Ovviamente il loro rapporto si rinforza molto.

Su Los Alamos ve lo dico in due parole: ne ha combinate di tutti i colori, anche se alla fine, nel 1945, lui era responsabile di uno dei settori decisivi per la bomba ad uranio. Su che terreno ne ha

combinare di tutti i colori? Prima di tutto sulla stupidità, poi contro i principi di segretezza, infine, applicate insieme la segretezza e la stupidità, contro la censura militare.

Si divertiva a fare gli scherzi. E' diventato uno specialista in apertura di casseforti: più le chiudevano, più lui le apriva, e le apriva per il gusto di lasciare dentro il messaggio "guardate che si possono aprire". E' qualcosa di simile alla politica degli hacker seri di oggi.

Sapete che quando c'è di mezzo una password o una combinazione ti danno di solito una combinazione ovvia, il famoso 1 2 3 4 dei telefonini su cui si ride tutti; lo sapete che quando io sono arrivato qui al Frisi dopo essere stato 7 anni allo Zucchi ho trovato gli stessi programmi per l'anagrafica alunni, lo sapete che il codice utente e la password che c'era allo Zucchi ero lo stesso che c'era qui al Frisi? Perché? Perché il produttore dava il prodotto con un utente predefinito che si chiamava utente 07 e una password che si chiamava chiave; utente e password funzionavano sia al Frisi che allo Zucchi.

Questa cosa Feynman la racconta a proposito dei segreti della bomba nucleare. Racconta di un generale che, stufo di queste casseforti che tutti sapevano aprire, se ne fa dare una superspecialissima, grossissima, pesantissima, e poi sceglie come combinazione quella predefinita di fabbrica, indicata sul manuale.

Quando c'è una combinazione e non sapete cosa fare, guardate sempre se c'è qualche post-it sotto il tavolo, se c'è qualcosa di strano in giro, perché quasi sempre è la password. Succedeva così a Los Alamos, succede così anche oggi. Lui si è molto divertito con queste cose.

Come faceva a prendere in giro la censura? Avete visto tra le slide quella con $1/234 =$ e poi tutti i numeri? Avete visto che bella regolarità che c'è? Si ripetono 411, 522, 633, 744, 855, c'è una interruzione e poi ricomincia: è un numero periodico.

Lui, con Arlene ma anche con suo padre, si scambiava giochi del genere e ovviamente la censura la bloccava, perché *quella sequenza di numeri così speciale non può che essere un codice segreto!*

Quando succede questa cosa del numero $1/234$ nasce un problema, perché non c'è nessuna norma. I censori pensano che quello sia un codice, lui dice che non lo è; nelle norme di comunicazione si

una magia che fa impazzire la censura militare

$\frac{1}{243} \approx 0.00411522633744855967078189300411522633744855967078189300 \dots$

dice che loro possono comunicare in inglese, in francese, in tedesco ... MA NON con i numeri; allora deve fare una domanda

speciale per farsi dare l'autorizzazione a comunicare con l'esterno con cifre arabe. E così avanti, sono anni in cui ne succede una dietro l'altra.

Scopre che c'è un buco nella recinzione ma non lo si può comunicare, e così Feynman inventa questo stratagemma: comincia a uscire dal buco e rientrare dall'ingresso, continuamente, finché quello di guardia si insospettisce, lo chiamano e lo arrestano, e vogliono sapere che cosa c'è dietro questa cosa.

Fisica e senso critico

Parlando di cose più serie: lui si batte molto a fondo contro il nozionismo, il tema del "non sapevano di sapere". Nelle sue biografie si trovano tanti episodi: una serie di martellate contro il sistema di istruzione dei fisici in Brasile, paese in cui riesce ad andare a fare un anno sabbatico, per esempio. Ma ce n'è uno molto più divertente su Princeton e che riguarda il fatto che spesso la gente introietta informazioni e non le organizza. Una volta vuole prendere in giro i suoi compagni più grandi e dice: prendete un curvilinee e ditemi qual è la proprietà che chi progetta i curvilinee segue nel produrli. Tutti danno risposte varie, ma lui dice di no, e poi, per prenderli in giro, dice così. Se voi prendete il curvilinee e lo sospendete in verticale vedrete che



la retta tangente nel punto più basso è sempre orizzontale? Quindi la proprietà è questa! E tutti gli danno ragione, prendono in mano il loro curvilinee e si mettono a disegnare.

Può far ridere, ma è un episodio vero. E' una presa in giro di studenti di secondo livello di fisica. Qual è la proprietà? Che nei punti di minimo la tangente è orizzontale, è una proprietà generale matematica, non del curvilinee! Quei ragazzi l'avevano studiato in matematica, ma la capacità di mettere insieme il "cosa hai studiato" con il "cosa te ne fai" è molto spesso la cosa su cui casca l'asino. Il famoso "*non sapevano di sapere*".

C'è un punto bellissimo in cui lui racconta del cosa fanno gli studenti con gli appunti... Vi consiglio di andarsela a leggere perché accade ancora oggi nei licei.

Un altro episodio riguarda Gibbs, quello della termodinamica, e Feynman lo racconta così.

Arriva Gibbs, gli dà in mano un fascicolo di un candidato che aveva fatto domanda in ritardo e gli dice di dargli un'occhiata. Dopo un po' torna e gli chiede cosa ne pensa.

Credo sia di primo ordine, dovremmo accettarlo, anzi sarà una fortuna averlo qui

Mmm... Ha guardato la sua fotografia?

E che differenza fa?-gli urlai indignato.

Nessuna, signor Feynman, sono felice della sua reazione. Volevo solo capire che tipo è il nuovo professore.

Il gioco del "che t'importa di cosa dice la gente" tra i fisici è questa cosa.

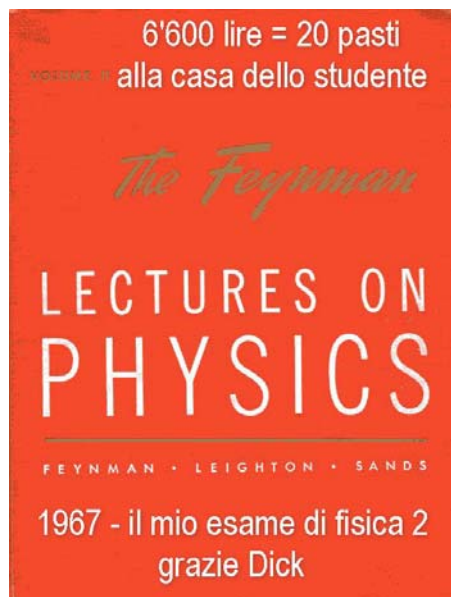
Qualche dato biografico

- 1918-1935: infanzia e giovinezza, High School a New York.
- 1935-1939: bachelor, laurea di primo livello, all' MIT di Boston. Lui è andato all' MIT e non alla Columbia University di New York perché negli anni 30 negli Stati Uniti c'era il numero chiuso per gli ebrei, cioè gli ebrei entravano nelle università in maniera contingentata.
- 1939-1942: dottorato a Princeton, l'università dove c'è Einstein, dove c'è Von Neumann, il padre della assiomaticizzazione della meccanica quantistica, il padre della cibernetica.
- Nel 1942 si sposa con Arlene, dal 43 al 45 va a Los Alamos a lavorare intorno al progetto Manhattan.
- Nel 1945, finita la Guerra Mondiale, va a lavorare a Cornell, altra università molto famosa anche questa abbastanza vicina a New York, con Bethe. A Princeton lui ha lavorato a stretto contatto di gomito con Wheeler, il più grande esperto di teoria della relatività. A Cornell lavora dal 45 al 50, ed è in questo periodo che fa i suoi più grandi lavori scientifici.
- Nel 1950 decide di cambiare, è già diventato famoso per la sua teoria che viene utilizzata dai fisici teorici di tutto il mondo, riceve tantissime offerte e alla fine decide per il Caltech, California Institute of Technology, all'altro estremo degli Stati Uniti, vicino a Los Angeles, dove resterà fino alla morte, nel 1988 (Feynman è morto per le recidive di un tumore allo stomaco che ha cominciato a manifestarsi nel 1978). Va al Caltech perché gli offre, oltre che uno stipendio altissimo, da subito un anno sabbatico; quindi lui comincia a lavorare per la nuova università andando da un'altra parte, in Brasile, dove ne combina di ogni, vicende con la malavita, donne, bongos, va a far parte di un gruppo di samba...
- Nel 1951 si sposa e divorzia immediatamente con un'altra; il periodo 45-50 è sicuramente quello più tempestoso nei rapporti con l'altro sesso. Nel 1953 si occupa di superfluidità; nel 1957 riprende in mano le problematiche dell'interazione debole e comincia a costruire quella



che diventerà poi la nuova teoria dell'interazione debole che però non farà lui; nel 1960 si risposa e questa volta fa un figlio, Carl, cui si aggiungerà una figlia adottiva, Michelle.

- Dal 1961 al 1963 c'è la vicenda delle Lectures al Caltech, cioè il lavoro da cui nascono i 3 volumi rossi delle lezioni di Feynman. E' un libro che resterà nella storia dei testi di fisica del Novecento: ci sono solo due libri con queste caratteristiche, nel Novecento: le Lezioni di fisica teorica di Sommerfeld, che sono libri usciti intorno alla metà degli anni Venti e per certe cose si usano ancora adesso, e le Lezioni di Feynman.



- Il Feynman, uscito nel '65, ha 40 anni, ma io me lo studio ancora adesso. E nel 1978 ho condotto una specie di seminario con 5 studenti del Frisi, con i quali mi trovavo una volta la settimana per discutere del Feynman: ci davamo un capitolo alla volta e poi ci trovavamo e discutevamo. Prendendo in mano questo libro oggi, ci trovo una freschezza, una modernità, uno spirito interdisciplinare, una rottura rispetto alla versione nozionistica della scienza che non se ne ha idea. Naturalmente se questo libro ha queste caratteristiche, oltre che essere un libro famosissimo, non sarà stato mai adottato in nessun esame universitario; bisogna imparare ad usarlo di nascosto perché essenzialmente nessun professore riuscirà nelle sue lezioni a dare la freschezza alla fisica che riesce a dare Feynman quando parla di fisica. A nessuno piace fare delle brutte figure, quindi nessuno lo adotta; ma voi seguite il mio consiglio da amico, studiate anche qui sopra, perché vi si

aprirà il mondo. Non si imparano delle cose nuove, ma un modo di guardare alle cose che non trovate da altre parti.

- Dal 1961 al 1963 il numero di studenti non diminuiva ma l'uditorio cambiava: man mano sparivano le matricole e comparivano quelli degli anni avanti e i professori universitari. Questo è un corso che è stato seguito in larga misura da laureati, perché era troppo "grande". Il libro non è scritto da Feynman, le lezioni sono state sbobinate e trascritte dagli altri due, Leighton e Sands. Leighton era un grande fisico dell'MIT, ha scritto libri importanti di struttura della materia.
- Nel 1965 il Premio Nobel. Uno dei problemi che Feynman ha quando gli danno il Nobel è come fare a tornare al suo posto, per non voltare le spalle al re secondo il protocollo. Quando Feynman aveva fatto visita ai reali del Belgio, aveva dato la mano al re Baldovino, e tutti intorno avevano cominciato a tossire con grande imbarazzo.
- Dal 1968 comincia a lavorare con Gell-Mann intorno a quella che diventerà la teoria dei Quark. Nel 1978 viene colpito dal tumore, ci sono quattro interventi chirurgici; l'ultima importante operazione che lui fa è lo smascheramento delle mire dei militari e della Nasa per cercare di occultare le vere ragioni del disastro del Challenger, il Columbia esplose nel 1986 alla partenza. L'esplosione è avvenuta perché utilizzavano nei serbatoi dei razzi degli o-ring, anellini di gomma che servono a far la tenuta; c'era una sovrappressione interna, sfiati di ogni genere, c'erano questi o-ring di 3 metri di diametro a garantire la tenuta. Quella mattina la temperatura era scesa a -10 gradi, a questa temperatura la gomma degli o-ring è diventata rigida, non dava



più la risposta di tenuta in tempi brevi e quella mattina è saltato tutto. Poteva essere successo altre venti volte prima, perché l'origine c'era anche prima, semplicemente quella mattina ha fatto freddo, la temperatura è andata sotto zero, la gomma ha perso le sue caratteristiche e il Challenger è saltato. Feynman ha smascherato questa cosa in diretta televisiva facendosi portare il modellino degli o-ring: toglie un pezzettino di questo con una pinzetta, si fa portare dell'acqua ghiacciata, prende un pezzo di questa gomma, la stringe in un morsetto, la mette dentro dell'acqua ghiacciata mentre parla e poi la tira fuori e fa vedere che è rimasta schiacciata.

La produzione scientifica

Ultima cosa: cos'ha fatto nell'ambito della produzione scientifica. Nel 1928 Paul Adrian Dirac ha scritto la prima equazione di meccanica quantistica per l'elettrone applicando i criteri, i paradigmi della teoria della relatività. Da quella applicazione sono venute fuori due cose importanti: la prima è stata la previsione dell'esistenza dell'antimateria e la seconda la previsione nell'ambito della teoria dello spin dell'elettrone.

Lo spin dell'elettrone è questa strana proprietà che noi ci visualizziamo pensando a un elettrone che ruota come una pallina ed è stata introdotta nella teoria quantistica come ipotesi ad hoc: perché la teoria risultasse in accordo con gli esperimenti bisognava ipotizzare che ci fosse questa cosa.

Lo spin nella teoria di Dirac è un risultato della teoria, previsto dalla teoria.

Ma la teoria di Dirac, che pure è covariante, cioè una teoria quantistica che ha lo stesso livello di invarianza per le trasformazioni di Lorenz che si ha in teoria della relatività, e quindi da questo punto di vista è una teoria relativistica, e funziona anche per gli elettroni di alta energia, ha un difetto: applica i principi quantistici alla materia ma non li applica ai campi.

Cioè la struttura fisica che trasporta le interazioni in questa teoria è ancora il vecchio campo della fisica classica. Ora capite bene che se il mondo è quantistico anche il campo è quantistico. Vuol dire che non è un'entità continua che magari si propaga nello spazio attraverso onde, ma anche lui è fatto di granuli e questi granuli sono quelli che noi oggi chiamiamo fotoni.

La costruzione di una teoria quantistica relativistica in cui ci sia anche il campo quantizzato - si chiama *seconda quantizzazione* (la prima è stata quella dell'energia) - crea un sacco di problemi; non è che non si possa fare, ma una serie importante di grandezze fisiche tra cui cito la massa

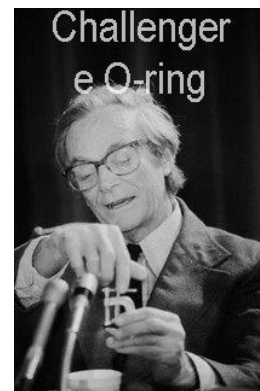
dell'elettrone e la carica dell'elettrone previste dalla teoria danno infinito.

Danno infinito perché quando si applica la teoria uno deve prendere in esame l'interazione elettrica dell'elettrone con se stesso e nel fare questa operazione *ne succedono di ogni*. Questo è il problema che tutti i fisici negli anni 30 avevano e che, per usare una terminologia di Feynman, *mettevano sotto il tappeto*.

Questi infiniti che saltavano fuori dalla teoria si era deciso di ignorarli, perché la teoria di Dirac fino ai livelli sperimentali allora esistenti apparentemente funzionava.

Nel 1947 conferenza di Shelter Island: i fisici teorici e sperimentali che hanno finito il loro lavoro a Los Alamos decidono di ricominciare ad

occuparsi di fisica; in questa conferenza, Lamb presenta dei risultati sperimentali ottenuti con le tecniche delle microonde (le avevano sviluppate alla Columbia University, dove si erano specializzati nei radar). Hanno scoperto che nello spettro dell'idrogeno esiste uno sdoppiamento di righe che non è assolutamente previsto dalla teoria di Dirac e che è osservabile e misurabile.



L'indicazione di Bethe ai teorici di allora è: *finalmente abbiamo un dato sperimentale che ci obbliga a rivedere*. Vi ricordo che nell'ultima pagina dei Principi della meccanica quantistica di Dirac c'è scritto: *Ci sono delle cose nella mia teoria che ci obbligheranno ad una rivoluzione di pensiero paragonabile alla rivoluzione che è stato il passaggio dalla fisica classica alla meccanica quantistica*.

Quando Feynman, studente all'MIT, legge questa cosa, dice: E' il mio pane! Qual è l'idea di Feynman, ed è la cosa che l'ha reso grande? I suoi contributi alla fisica, e in questo è molto simile ad Einstein, sono sempre contributi in grande, non sono mai il prendere una teoria precedente, lavorarci sopra e scoprire qualcosa di nuovo, *ma prendere atto che esistono dei problemi e che questi problemi possono essere risolti solo se si ha il coraggio di dare la scalata al cielo*.

Nel suo caso di che cosa si tratta? Tutte la fisica teorica, dal 1700 in avanti, è stata realizzata usando un modello di costruzione delle teorie (che ha inventato Lagrange, un fisico italo-francese) basato su tecniche che generalizzano le equazioni di Newton e consentono di studiare per lo meno astrattamente un sistema complesso, di qualunque livello di complessità, dicendo che noi quel sistema riusciamo a descriverlo.

Questo modo di lavorare che è stato perfezionato nell'800 è stato poi seguito anche per costruire la meccanica quantistica ma esiste un secondo modello (che in ultima analisi si basa sull'idea di interazione per contiguità sia che si lavori nel tempo sia che si lavori nello spazio).

Il *là e poi* è costruito attraverso una sequenza di *qui ed ora*.

Quando Feynman era uno studente di liceo e il suo professore di fisica lo vedeva annoiato (Bader, si chiamava), il professore gli diede da leggere per la prima volta qualcosa sul *principio di minima azione*.

Cos'è questo principio? E' una cosa molto vecchia, scoperta addirittura da Fermat, nel Seicento: è l'idea che ciò che avviene in natura tra il *qui ed ora* e il *là e poi* possa essere analizzato attraverso la minimizzazione di una opportuna funzione, come se la natura obbedisse ad un principio di ottimizzazione.

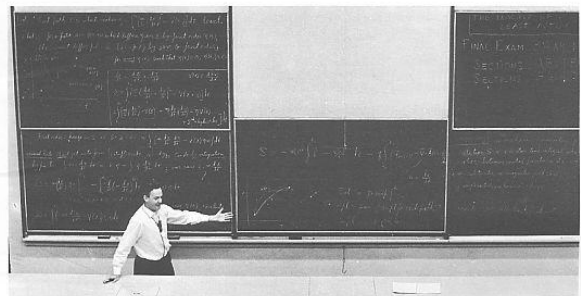
Questo principio è stato già usato in fisica classica ed era stato usato in parte in meccanica quantistica. Quello che ha fatto Feynman è stato di riuscire, inventando un sacco di cose, ad applicarlo alla meccanica quantistica relativistica.

Questo approccio, che se avete voglia è leggibile anche da una persona di cultura media che non sa molto di matematica, lo trovate spiegato in questo libro di Feynman, *Qed, La strana teoria della luce e della materia*, Edizioni Adelphi.

Esso si basa su una tecnica detta "somma lungo le storie". Mentre il mondo classico sembra comportarsi secondo una modalità di questo tipo: *nella riflessione la luce segue sempre il periodo più breve*, nella somma delle storie di Feynman *il mondo microscopico ha una differenza fondamentale che è di rottura con tutta la visione classica precedente*. Le

un tema caro a Feynman

The Principle of Least Action



A special lecture—almost verbatim*

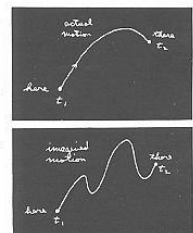
"When I was in high school, my physics teacher—whose name was Mr. Bader—called me down one day after physics class and said, 'You look bored; I want to tell you something interesting.' Then he told me something which I found absolutely fascinating, and have, since then, always found fascinating. Every time the subject comes up, I work on it. In fact, when I began to prepare this lecture I found myself making more analyses on the thing. Instead of worrying about the lecture, I got involved in a new problem. The subject is this—the principle of least action.

"Mr. Bader told me the following: Suppose you have a particle (in a gravitational field, for instance) which starts somewhere and moves to some other point *passando* by free motion—you throw it, and it goes up and comes down. *scende*

It goes from the original place to the final place in a certain amount of time. Now, you try a different motion. Suppose that to get from here to there, it went like this *↑*

but got there in just the same amount of time. Then he said this: If you calculate the kinetic energy at every moment on the path, take away the potential energy, and integrate it over the time during the whole path, you'll find that the number you'll get is *bigger* than that for the actual motion. *più grande, vale, (adeguata)*

* Later chapters do not depend on the material of this special lecture—which is intended to be for "entertainment."



19-1

Biblioteca Scientifica 12

Richard P. Feynman

QED

LA STRANA TEORIA DELLA LUCE
E DELLA MATERIA



particelle vanno dappertutto, il mondo ha infiniti modi di accadere che avvengono tutti contemporaneamente.

La particella che va là fa tutte le strade, ogni strada può essere descritta attraverso un'opportuna freccia che si può tradurre in una probabilità, ma è una freccia, non è un numero, perché poi quando si sommano le frecce 1+1 può anche fare 0.

Gell Mann e Feynman - 1969



Erano tutte cose già note, e allora qual è stata la grande idea? Che quando io devo fare anche una qualunque cosa piccolissima, devo sommare tutte le infinite possibilità di accadimento e il risultato finale è la somma di queste frecce trasformata in probabilità.

Quando si sommano queste frecce accade di tutto, dal vuoto possono comparire coppie, particella antiparticella, purché non violino il principio di indeterminazione. Esistono degli strani oggetti che i fisici chiamano *particelle virtuali* che hanno una strana proprietà: *non hanno realtà fisica però producono fenomeni che hanno implicazioni fisiche, e se c'è*

sufficiente energia acquistano anche realtà fisica.

Quando racconto questa cosa in forma semplificata ai miei studenti racconto così: nella teoria quantistica dei campi *può accadere tutto, ma tutto cosa? Tutto quello che non viola alcune leggi di conservazione.* Sì, ma quando accade? *Tutto accade con probabilità misurabili e quindi bisogna avere pazienza.* Qual è la pazienza dei fisici? Se una cosa ha una probabilità di 1 su 10^{43} volte di accadere, non possiamo permetterci di aspettare 10^{43} anni, perché l'universo ce ne ha un po' di meno, di anni di età.

Allora si tratta di aggirare la cosa facendo avvenire tante cose insieme. Se noi ci mettiamo in un contesto sperimentale in cui quella cosa che avviene di rado possiamo vederla perché di cose ne facciamo tante, prima o poi, se non è vietata da una legge di conservazione, quella cosa accade.

Questo modo di ragionare, che è il modo tipico oggi delle teorie del modello standard, è direttamente figlio della fisica di Feynman perché dopo la Quantum Electrodynamics sono venute le *teorie di gauge* che sono un'ulteriore estensione in un ambito di invarianza ancora più alto di questo modo di ragionare.

Il bello è che funziona molto bene. Ai tempi di Feynman la teoria risultava precisa con 10 cifre significative, oggi 12 cifre significative, che vuol dire mille miliardi. Per capire cosa significa ragioniamo in termine di lunghezze: mille miliardi di metri = un miliardo di chilometri cioè 10 volte la distanza terra-sole. Bene quando vi dico che noi abbiamo conferme sperimentali con 12 cifre significative della Quantum Electrodynamics vuol dire che è come se misurassimo con la precisione di un metro dieci volte la distanza terra-sole. Vuol dire che questa è una teoria con un grado di conferma così alto quale non abbiamo mai raggiunto fino ad ora, e questo è ciò che ha reso grandi i contributi di Feynman alla fisica.



Bibliografia consigliata:

Feynman: Sta scherzando Mister Feynman! Ed. Zanichelli

Feynman: Che t'importa di ciò che dice la gente Ed. Zanichelli

Feynman: Qed Ed. Adelphi

J.Gleick: Genio ed. Garzanti (pessima traduzione)

Nella serie "I grandi della scienza" la biografia di Feynman

Feynman: La legge fisica (lezioni a Cornell) Ed. Boringhieri