

Paolo Rossi – Dipartimento di Fisica “E. Fermi” dell’Università di Pisa e Centro Fermi - Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi", Rome, Italy

Enrico Fermi a Pisa

La formazione di Fermi prima di Pisa

Enrico Fermi fu ammesso alla Classe di Scienze della Scuola Normale Superiore a Pisa nel 1918, quando non aveva ancora diciotto anni. Aveva una conoscenza ampia e profonda della fisica a causa dei suoi primi studi da autodidatta, che rivelano la sua precoce vocazione..

L'ingegnere Adolfo Amidei (1877-1965), collega e amico del padre di Enrico, fu il primo a riconoscere la straordinaria intelligenza del giovane e a notare la sua grande curiosità per la fisica. Enrico chiese a Amidei un libro dove potesse trovare una spiegazione scientifica dei movimenti di una trottola e di un giroscopio. Amidei rispose che avrebbe dovuto "padroneggiare una scienza nota come meccanica teorica; ma per impararla avrebbe dovuto studiare trigonometria, algebra, geometria analitica e calcolo". Tra la fine del 1914 e l'estate del 1918, Amidei consigliò Enrico nei suoi studi e gli prestò molti libri di matematica eccellenti e spesso difficili come quelli di Serret, Cesàro, Bianchi, Dini, Peano e Grassmann, nonché il *Traité de mécanique* di Poisson. Gli suggerì anche di studiare analisi infinitesimale per acquisire gli strumenti di base necessari per una profonda comprensione della meccanica analitica che stava imparando dal libro del gesuita Andrea Caraffa, *Elementorum physicae mathematicae*, pubblicato nel 1840, che Enrico aveva acquistato trovandolo su una bancarella in Campo de' Fiori. Il manuale comprendeva argomenti come la matematica, la meccanica classica, l'astronomia, l'ottica, e l'acustica. Le sue novecento pagine in latino furono studiate in modo approfondito dal giovane Fermi, come dimostra il ritrovamento di molti foglietti e annotazioni all'interno dei due tomi del trattato. Questi primi studi lo prepararono per affrontare il difficile formalismo matematico che avrebbe utilizzato in alcune delle sue prime opere scientifiche sull'elettromagnetismo e sulla relatività.

Amidei convinse i genitori di Enrico a lasciare che il figlio andasse all'Università di Pisa come studente della Scuola Normale Superiore perché, spiegò, là c'era una biblioteca importante a disposizione degli studenti ed erano offerte lezioni che erano complementari a quelle dell'università. A Enrico fu anche suggerito che studiasse i cinque volumi del *Traité de physique* di Orest D. Chwolson per prepararsi all'esame d'ingresso alla Scuola Normale Superiore.

A questo proposito occorre ricordare, accanto a quella di Amidei, un'altra figura che ebbe un ruolo importante nel primo percorso formativo di Fermi. Ci riferiamo al professor Filippo Eredia (1877-1948), direttore della sezione presagi (*sic!*) dell'Ufficio centrale di Meteorologia e Geodinamica, ma anche insegnante di fisica al Liceo Umberto I negli anni in cui ne era allievo il giovane Enrico. Non soltanto Eredia seguì Fermi e Persico nei loro primi passi come sperimentatori e costruttori di apparati, ma fu anche in grado di offrire a Fermi la concreta possibilità di studiare il succitato *Traité* del Chwolson, del quale verosimilmente esistevano a Roma soltanto due copie, quella dell'Istituto di via Panisperna (inaccessibile a uno studente liceale) e quella dell'Ufficio Centrale di Meteorologia, nella cui sede di via del Caravita Enrico trascorse buona parte dell'estate del 1918.

L'esame d'ingresso di Fermi

Il 14 novembre 1918, con il suo ampio *background* di fisica e matematica, Fermi fece l'esame di ingresso a Roma, ottenendo ottimi voti. Il suo trattamento dell'argomento, "Caratteri distintivi dei suoni e delle loro cause", stupì i tre membri della commissione giudicatrice per la sua chiarezza e profondità e l'uso di metodi matematici avanzati nell'analizzare il problema di un'asta vibrante. Il professor Giulio Pittarelli, presidente della commissione, era così sorpreso che chiamò Fermi per

un'intervista, che si concluse con lo stesso che disse a Fermi "che nella sua lunga carriera di professore non aveva mai visto niente di simile, che Fermi era una persona straordinaria ed era destinata a diventare un importante scienziato." Alla prova scritta fece seguito quella orale, che per la parte di fisica fu gestita in prima persona proprio dal professor Eredia, anch'egli membro della commissione, il quale oltre alle domande di *routine* ne inserì anche una facilmente riconducibile alle problematiche che Enrico aveva dovuto affrontare nel corso dei propri esperimenti liceali.

Gli anni pisani: vita e amicizie

I quattro anni che Fermi trascorse a Pisa, secondo la moglie Laura, furono i più felici e spensierati della sua vita. Conobbe Franco Rasetti e stabilì un'amicizia permanente con lui. Trascorrevano un sacco di tempo insieme, non solo per discutere di fisica, ma anche per fare lunghe passeggiate sulle montagne vicine, soprattutto sulle Alpi Apuane, che amavano molto.

Il sodalizio comprendeva anche uno studente di un anno più anziano, Nello Carrara, anch'egli destinato in seguito a produrre importanti risultati scientifici, nel suo caso nel campo delle onde elettromagnetiche, e che ebbe un ruolo non marginale anche nelle ricerche che portarono Fermi alla stesura della propria tesi di laurea. Ma negli anni degli studi universitari l'esistenza dei tre amici non era certo priva di momenti ludici, e spesso anche tipicamente goliardici. Le "attività" di tale natura si svolgevano nell'ambito di una singolare associazione "clandestina" che i tre avevano costituito con il sintomatico nome di "Società Antiprossimo". La compagnia si allargò anche al "filosofo" De Negri e ad alcuni ragazzi "della tribù dei Pontecorvo", tra cui certamente Guido, fratello maggiore di Bruno, che tra l'altro invitò Fermi a casa per farlo conoscere alla famiglia, avendone ben compreso l'eccezionale intelligenza. Di tale associazione merita richiamare alcune tra le "imprese" più significative, tra cui in primo luogo, anche per la risonanza cittadina che ebbe l'episodio, l'applicazione di un copricapo alla statua del Granduca Cosimo Primo, che tuttora si erge in piazza dei Cavalieri davanti al Palazzo della Carovana, sede della Scuola. L'operazione richiese una duplice scalata notturna della statua stessa, che fu compiuta proprio da Fermi e Carrara, una prima volta per prendere le misure e la seconda per la vestizione con un cilindro piumato. Ma possiamo aggiungere alla lista delle imprese anche il collaudo pubblico della "bomba di Rasetti", un ordigno la cui peculiarità consisteva nella produzione di un odore insopportabile, e la dimostrazione sperimentale del "teorema del gatto" mediante il lancio in aria di un gatto vivo nell'aula in cui il professore di Meccanica Razionale aveva appena finito di illustrare il meccanismo (all'epoca al centro di numerosi studi) con cui i gatti riescono sempre a cadere sulle quattro zampe.

La Fisica Teorica in Italia nei primi anni del Novecento

Accademicamente, Fermi già conosceva la maggior parte dei soggetti insegnati, così aveva un sacco di tempo libero da spendere nella biblioteca della Scuola Normale Superiore, dove studiò la "nuova fisica", in particolare relatività e teoria quantistica.

Per capire meglio la novità delle ricerche di Fermi a Pisa, devo analizzare brevemente la Fisica italiana agli inizi del Novecento. C'erano stati grandi fisici italiani in passato, ma l'Italia ora non era nel *mainstream* della fisica europea. Albert Einstein aveva recentemente formulato le sue teorie della relatività speciale e generale, e Bohr, Heisenberg, Schrödinger e Dirac stavano ponendo le basi della meccanica quantistica in altri paesi europei, sviluppando contemporaneamente nuovi metodi matematici. In Italia, invece, la fisica teorica non era insegnata in corsi universitari, né c'era alcuna ricerca teorica in corso. La fisica matematica, però, era una delle aree principali di ricerca e ricercatori italiani ottennero importanti risultati in questo campo. Allo stesso tempo matematici italiani, soprattutto a Pisa, tra cui Betti, Dini, Volterra e Bianchi, stavano offrendo pionieristici contributi alle fondamenta dell'analisi moderna e della geometria.

I fisici matematici e i fisici teorici si avvicinavano ai problemi fisici in modo piuttosto diverso: i primi si concentravano sui problemi matematici difficili che erano sorti nella fisica classica, mentre gli altri miravano a capire ed interpretare i fenomeni che non rientravano nelle teorie fisiche note. Così i fisici matematici italiani si concentravano su problemi matematici formali. Essi lavoravano nei dipartimenti di matematica e raramente discutevano i loro problemi con i loro colleghi nei dipartimenti di fisica. Così, quando Fermi entrò nella Scuola Normale Superiore a Pisa, assai poco era noto in Italia relativamente alla teoria quantistica. Anche se la relatività era ampiamente accettata dai matematici italiani nei suoi aspetti formali, sia relatività che teoria quantistica erano viste con scetticismo dai fisici italiani. Alcuni corsi di fisica teorica furono introdotti solo a partire dalla metà degli anni '20 e con la sua nomina all'Università di Roma nel 1926, Fermi divenne il primo professore di fisica teorica in Italia, insieme con Persico e Pontremoli.

In tutta la sua vita, Fermi ebbe un atteggiamento pragmatico verso la matematica, più come un moderno fisico teorico che come un fisico matematico: si concentrò sempre sulla fisica di un problema senza necessariamente fare uso di strumenti matematici troppo sofisticati.

Merita a questo proposito ricordare qui un episodio avvenuto diversi anni dopo, quando Ettore Majorana fu presentato per la prima volta a Fermi, che all'epoca aveva appena formulato il proprio modello per la descrizione del comportamento degli elettroni intorno a un nucleo atomico.

Mentre Fermi aveva usato metodi approssimati per calcolare i livelli energetici, impiegando alcuni giorni per ottenere valori numerici, Majorana dopo aver ascoltato con aria scettica la descrizione del procedimento se ne andò a casa e tornò il giorno dopo con il proprio risultato, avendo risolto esattamente nella notte le complicate equazioni, e "promosse" Fermi dopo aver verificato che i valori da lui ottenuti coincidevano con i propri.

Gli studi di Fermi a Pisa

Conosciamo con precisione i libri che Fermi ha letto e gli interessi dei suoi anni a Pisa, perché scriveva regolarmente dei suoi studi al suo vecchio amico di Roma, Enrico Persico.

Così, sappiamo che appena dopo aver raggiunto Pisa, egli aveva già in mente di riorganizzare e pubblicare i suoi studi di fisica. Teneva un piccolo quaderno d'appunti, depositato oggi presso la Domus Galileiana a Pisa, in cui riassunse diciannove articoli di Einstein, Sommerfeld, von Laue, Richardson, Bohr e altri, e tre dei propri lavori e parte di una propria pubblicazione. Uno degli inediti testimonia il suo interesse per i problemi sperimentali, discutendo di un dispositivo per misurare la lunghezza d'onda della luce. Un secondo quaderno porta il titolo, "Alcune teorie fisiche", e Fermi lo conservò per tutta la sua vita ma non lo mostrò mai neanche ai suoi amici più stretti. Contiene una vasta bibliografia di scritti su vari argomenti e riassunti di meccanica classica, di teoria elettronica della materia, della teoria di Planck sulla radiazione del corpo nero e delle proprietà degli elementi radioattivi. Fermi in seguito avrebbe prodotto contributi fondamentali su alcuni di questi argomenti.

Alla fine del suo primo anno a Pisa, Fermi stava già studiando la vecchia teoria quantistica di Bohr e Sommerfeld, e nel gennaio 1920 il professor Luigi Puccianti, titolare della cattedra di Fisica Sperimentale, gli chiese di tenere una lezione all'Istituto che spiegasse questa teoria ai suoi professori. Fermi era già diventato la più importante autorità sulla nuova fisica a Pisa.

Durante il suo lavoro di tesi, Fermi effettuò anche ricerche sulla teoria della relatività: "Io sto operando da docente, relativista e fisico », scrisse a Persico il 25 gennaio 1922. Infatti, già un anno prima, nel gennaio 1921, quando era uno studente di terzo anno a Pisa, Fermi aveva presentato un documento su un problema della teoria della relatività - la sua prima pubblicazione scientifica.

I primi lavori scientifici di Fermi

Occorre descrivere brevemente queste prime opere di Fermi per mostrare la difficoltà dei problemi che riuscì ad affrontare come giovane studente. I primi quattro suoi articoli pubblicati rivelano il suo crescente interesse verso la relatività generale; gli ultimi due rappresentano il meglio del suo lavoro scientifico giovanile.

Il primo articolo di Fermi, "Sulla dinamica di un rigido sistema di spostamento di particelle cariche" si occupa di un problema vecchio e controverso associato alla massa elettromagnetica dell'elettrone. Se si presume che un elettrone sia un guscio sferico di elettricità rigido, uniformemente caricato, e se si calcola l'impulso del relativo campo elettromagnetico, si scopre che l'inerzia elettromagnetica di un elettrone che si muove lentamente è $4/3$ volte il rapporto dell'energia totale u con il quadrato della velocità della luce c . Ciò differisce per un fattore di $4/3$ dal ben noto risultato della relatività speciale, una discrepanza che Fermi risolse nel suo quarto articolo pubblicato. Nel frattempo generalizzò questo risultato al caso di una distribuzione di carica arbitrariamente estesa. O.W. Richardson, nel suo libro sulla teoria dell'elettrone, che Fermi conosceva bene e da cui era stato ispirato, notava che per eseguire questa generalizzazione, "i calcoli sono molto complicati". Il primo lavoro di Fermi può quindi essere considerato come un esercizio formale che mostrava la sua abilità sorprendente nel compiere calcoli difficili.

Due mesi più tardi, nel marzo 1921, Fermi completò il suo secondo articolo, "Sull'elettrostatica di un campo gravitazionale uniforme e l'inerzia delle masse elettromagnetiche", che si occupava degli effetti relativistici generali di un campo gravitazionale uniforme sui fenomeni elettrostatici. Discuteva anche il problema delle masse inerziali (masse pesanti), definite come rapporto della forza gravitazionale con l'accelerazione gravitazionale dei sistemi elettromagnetici. Il suo risultato fu quello di mostrare che la massa inerziale si differenziava dalla massa elettromagnetica, in quanto la prima era in accordo con il principio di equivalenza di Einstein mentre la seconda era differente già nel caso di una distribuzione di carica sferica.

Note manoscritte di Persico sul calcolo di Fermi affermano che, "una tale discrepanza non smise di preoccuparlo e non nascose la sua felicità quando scoprì la spiegazione". È notevole che Fermi potesse impiegare così facilmente i complessi strumenti della relatività generale, in particolare la geometria differenziale degli spazi non euclidei, ma dobbiamo ricordare che a Pisa aveva incontrato il grande matematico Luigi Bianchi, che dal 1918 era Direttore della Scuola Normale Superiore. Fermi aveva frequentato il corso di Bianchi sulla geometria analitica durante il suo primo anno a Pisa, e per questo aveva studiato le sue lezioni. Durante il suo quarto anno Fermi partecipò anche alle conferenze di Bianchi sulla geometria differenziale, ma non gli piacquero molto; le trovò noiose, perché gli sembravano troppo formali e distanti dalle applicazioni pratiche. Come scrisse a Persico, "dovrò passare l'esame in analisi superiore [geometria differenziale] che è di una noia terrificante, in cui i problemi studiati sono scelti dal solo criterio di essere privi di qualunque interesse [pratico]".

Il lavoro più importante di Fermi fu la sua terza pubblicazione, "Sui fenomeni che avvengono in prossimità di una linea d'universo", che probabilmente finì prima di gennaio 1922.

Questo è un lavoro brillante il cui risultato principale appare nei libri di testo sulla relatività generale come il teorema di Fermi, le coordinate di Fermi o il teorema sul trasporto parallelo di Fermi-Walker. Segrè lo chiamò "la prima realizzazione di Fermi di valore permanente";

fu citato per la prima volta nel libro di Levi-Civita, *Calcolo Differenziale Assoluto*, pubblicato in italiano nel 1925 e in inglese nel 1927 come *The Absolute Differential Calculus*, che fornì una rapida diffusione internazionale del risultato di Fermi.

Merita qui sottolineare che l'importante risultato di Fermi parte proprio un'attenta lettura e da un'originale reinterpretazione di una serie di ben nove articoli pubblicati dallo stesso Levi-Civita tra il 1917 e il 1919 negli *Atti della reale Accademia dei Lincei*

Fermi pubblicò il suo quarto documento, in cui risolse il problema sconcertante del fattore $4/3$ nella massa elettromagnetica dell'elettrone, in tre diverse riviste con piccoli cambiamenti e con quasi lo stesso titolo, "Correzione di una grave discrepanza tra la teoria elettrodinamica e relativistica delle masse elettromagnetiche". Come ci riferisce Persico :

“la questione fu discussa, in una serata invernale del 1922 a Pisa, mentre Fermi, Puccianti, Polvani e altri amici camminavano lungo via San Frediano dall'Università [che era nel vecchio edificio in piazza Torricelli] alla Scuola Normale Superiore. Qui la compagnia si separò senza aver raggiunto alcuna conclusione soddisfacente. Nei successivi due giorni, Fermi non comparve nell'Istituto di Fisica. Il terzo giorno arrivò con un articolo pronto per la pubblicazione, intitolato "Correzione di una grave discrepanza" Puccianti, che aveva sottolineato la necessità di un chiarimento, era entusiasticamente felice.

È chiaro che Fermi stesso riconosceva l'importanza del proprio risultato, poiché una delle riviste cui lo inviò per la pubblicazione era il rispettato *Physikalische Zeitschrift*. Fermi sapeva che riviste italiane come *Nuovo Cimento* e *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei*, in cui aveva pubblicato i primi tre documenti, erano raramente lette dai fisici stranieri. Infatti, il risultato di Fermi fu quasi dimenticato e fu ottenuto in seguito da altri fisici. Fermi ricondusse la "grave discrepanza" alla definizione del concetto di corpo rigido, e così la risolse e ottenne una rappresentazione coerente di un elettrone relativistico.

La Licenza alla Scuola Normale

Fin dall'inizio del 1922, Fermi lavorava anche sulle tesi per la *licenza* della Scuola Normale, e per la propria laurea all'Università. Nonostante il lavoro che richiedevano, così come il suo lavoro per le pubblicazioni sopra citate, Fermi scrisse a Persico che, "come fisico, la mia principale attività consiste nel non far niente, perché dopo tutto credo che la statistica di Boltzmann non escluda assolutamente la possibilità che la mia dissertazione possa prodursi per agitazione termica -anche se tale possibilità non sembra molto probabile.”

La tesi di licenza di Fermi era su "Un teorema del calcolo di probabilità e alcune delle sue applicazioni". Il suo punto di partenza era un teorema di teoria della probabilità attribuibile a Pierre Simon de Laplace e noto oggi come il teorema del limite centrale, che si occupa del problema di determinare la funzione di distribuzione di una somma di un gran numero di variabili casuali indipendenti, o come scriveva Fermi, "molti addendi incoerenti". Fermi dimostrò una generalizzazione di questo teorema, e lo applicò a un problema classico nella teoria dei giochi di fortuna, quello di un giocatore con una somma infinita di denaro che gioca contro uno con una somma finita. Fermi chiamò questi due giocatori Pietro e Paolo. Applicando il teorema di Fermi si può calcolare la probabilità che Paolo perderà tutti i suoi soldi. Per dimostrare il suo teorema, Fermi doveva risolvere un'equazione integrale del secondo tipo, ma come egli osservò: "Anche se ho provato duramente, non sono riuscito a risolverlo completamente, ma solo in modo approssimato." Il suo metodo approssimato fu pesantemente messo in discussione da alcuni matematici nella commissione giudicatrice a causa della sua mancanza di rigore. Fermi poi proseguiva considerando il problema di "una cometa con un'orbita ellittica che attraversa quella di Giove". A causa delle forze gravitazionali, il movimento della cometa è perturbato da Giove e le sue orbite possono diventare paraboliche o iperboliche e la cometa può anche colpire Giove. Fermi applicò il suo teorema e determinò le probabilità di tutte queste occorrenze. La commissione giudicante, composta tra gli altri da Bianchi e Puccianti, ricevette il manoscritto di Fermi il 20 giugno 1922.

Epilogo pisano

Fermi conseguì la laurea all'Università di Pisa con il massimo dei voti, *cum laude*, il 7 luglio 1922. Tre giorni dopo superò anche l'esame di licenza della Scuola Normale Superiore *cum laude*. Poco dopo, tornò a casa a Roma, e dopo lunghi soggiorni a Göttingen, Leiden e Firenze, iniziò la sua straordinaria carriera all'Università di Roma nel 1926.

Bibliografia

- L. Fermi, *Atoms in the family*, University of Chicago Press, Chicago (USA) 1961
- E. Segrè, *Enrico Fermi, fisico*, Zanichelli, Bologna 1971
- S. D'Agostino-A. Rossi, *Enrico Fermi e l'origine della fisica teorica in Italia*, in *Atti del XIV e XV Congresso nazionale di storia della Fisica*, Lecce 1995, pp. 417-425
- E. Segrè, *Fermi, Enrico*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 46 (1996)
- R. Vergara Caffarelli, *Enrico Fermi al Liceo Umberto I di Roma e all'Università di Pisa*, *Il Nuovo Saggiatore* 17 (2001) 8-15
- R. Vergara Caffarelli, *Il concorso alla Scuola Normale Superiore – Il compito di Fermi*, in *Fermi e l'Enciclopedia Italiana*, Roma 2001, pp. 165-188
- A. Gambassi, *Enrico Fermi in Pisa*, *Physics in Perspective* 5 (2003) 384-397
- F. Samoggia, *Nello Carrara*, Poggibonsi-Siena 2006, pp. 23-29
- G. Battimelli, *Aspetti della formazione scientifica del giovane Fermi: il ruolo di Filippo Eredia e dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica*, Roma (non pubblicato)
- G. Iurato e P. Rossi, *Sulla storia delle coordinate di Fermi*, *Quaderni del Giornale di Fisica* 2017
- Archivio generale di Ateneo di Pisa, *Raccolta di documenti originali su Fermi, Rasetti e Carrara*, a cura di D. Ronco, Pisa 2017 (non pubblicato)