

Enrico Fermi al Liceo Umberto I di Roma e all'Università di Pisa

di Roberto Vergara Caffarelli

Introduzione

Nel secolo scorso vi sono stati vari casi di scienziati precoci, ma quello di Enrico Fermi rimane l'unico caso di adolescente che, senza particolari stimoli culturali della famiglia, della scuola e dell'ambiente circostante riuscì, quasi da solo, a impadronirsi dei fondamenti di una scienza che era giunta ad una grande completezza e complessità. Per questo motivo gli scritti giovanili¹ rimasti inediti, obiettivamente di scarso valore se valutati nel complesso delle sue pubblicazioni scientifiche, sono di grande importanza come testimonianza delle sue doti straordinarie e della sua prodigiosa capacità di apprendimento scientifico.

La moglie Laura è stata la prima a dare notizie² sulla formazione culturale di Enrico nel periodo dell'adolescenza e sul ruolo che svolse in quegli anni un collega del padre, l'ingegnere Adolfo Amidei³.

Emilio Segré ha in seguito pubblicato⁴ una dettagliata relazione, avuta da Amidei, in cui, insieme a molte altre notizie, sono elencati in ordine di tempo i libri dati a Fermi dal 1914, quando egli aveva appena compiuto tredici anni, fino al 1918.

Occorre subito notare che l'attenzione dell'ingegnere fu rivolta in maniera prevalente alla preparazione matematica del ragazzo. Il criterio che aveva adottato richiedeva disciplina perché gli imponeva di frenare il desiderio di capire subito i fenomeni, per arrivare al loro studio solo dopo aver acquisito la necessaria preparazione matematica. Il percorso tracciato fu seguito con determinazione dal giovane perché era stato il discepolo a scegliere il maestro.

Amidei racconta come si svolsero i fatti: Fermi gli aveva chiesto dove poteva trovare una spiegazione scientifica del moto della trottola e del giroscopio. Per questo occorre - gli rispose - "conoscere bene una scienza detta Meccanica razionale per apprendere la quale era però necessario che egli imparasse la Trigonometria, l'Algebra, la Geometria analitica e il Calcolo infinitesimale". E il racconto si conclude così: "Enrico si persuase della bontà del mio consiglio ed io gli fornii i libri che ritenni più adatti per formare in lui idee chiare e solidi fondamenti matematici."

Tra i libri prestati nei primi tre anni solo il *Traité de mécanique* di Poisson ha un certo contenuto di fisica. Seguendo il percorso che si era preposto, Amidei aspettò che il ragazzo iniziasse il secondo liceo - nel settembre del 1917 - per incominciare a prestargli alcuni suoi libri di ingegneria. Ma l'ingegnere non sapeva che Fermi intanto studiava fisica da solo.

Nel luglio 1918 Enrico, saltando la terza, conclude brillantemente il liceo con quattro 10, tre 9, e cinque 8 (sul diploma viene annotata l'osservazione *licenziato con onore*).

Deve scegliere la facoltà a cui iscriversi: Amidei gli chiede se vuole fare Fisica o Matematica e ne ha questa risposta: "Ho studiato con passione la matematica perché la considero necessaria per lo studio della fisica alla quale io voglio esclusivamente dedicarmi". Gli domanda allora se le sue cognizioni di Fisica erano vaste e profonde come quelle che aveva nella scienza matematica, e lui risponde "sono molto più vaste e, credo, altrettanto profonde, perché ho letto tutti i più rinomati libri di Fisica". Proprio in quei giorni, il 31 luglio, aveva scritto all'amico Persico: "La lettura del Chwolson⁵ procede celermente e calcolo di averlo finito tra un mese o un mese e mezzo perché ho trovato circa 1000 pagine da saltare perché le conoscevo."

Nella lettera a Segré l'ing. Amidei non nomina mai Giulio, il fratello maggiore di Enrico. Sappiamo che Giulio ed Enrico erano legatissimi e si deve credere che per oltre un anno⁶ Enrico abbia condiviso con il fratello lo studio dei libri che riceveva da Amidei: *La geometria di posizione* di Teodoro Reye, il *Trattato di trigonometria piana e sferica* di J.A.Serret, il *Corso di analisi algebrica con introduzione al Calcolo infinitesimale* di Ernesto Cesàro, le dispense di *Geometria Analitica* di E.Bianchi. Lo studio, fatto insieme, deve aver reso moltissimo ai due fratelli; poi con la morte di Giulio le letture ormai solitarie di Enrico furono il frutto di una volontà ferrea.

Il Liceo-ginnasio Umberto I (1911-1918)

Nel 1914, quando conobbe Amidei, il giovane Fermi aveva appena iniziato il quarto anno del ginnasio, all'Umberto I, ora Liceo-Ginnasio Pilo Albertelli. La sorella Maria era iscritta al primo anno del liceo mentre il fratello Giulio, frequentava insieme Enrico Persico⁷ il quinto ginnasio.

Il padre, Alberto Fermi, al collega Amidei che gli commentava le doti fuori del comune del figlio, rispose "che suo figlio, alla scuola, era bravo, sì, ma che nessun dei suoi professori⁸ si era accorto che fosse un ragazzo prodigio". Questo giudizio prudente davanti alla parola "prodigio" trova un riscontro da quanto emerge dall'esame della carriera scolastica di Enrico: nella generale mediocrità dei più egli è quasi sempre il primo, ma non è l'unico ad avere voti alti.

Nel mio archivio ho le fotocopie di alcuni suoi compiti in classe del quinto ginnasio, di cui purtroppo non ricordo la provenienza. Tre di essi sono traduzioni: in una versione dall'italiano in latino ebbe 7, un "lavoro di greco" fu valutato 9 per la traduzione e 9 per il dettato, ed una sua versione dal latino, del 10 febbraio 1916 andò un po' meglio perché ebbe 8+.

I componimenti italiani sono più interessanti delle traduzioni perché permettono di valutare il grado di maturità di Fermi nel versante umanistico.

Il primo tema, che è del 18 novembre del 1915 ha come titolo "*Avanti!*"

Avanti! È una parola che sovente dobbiamo ripeterci noi giovani ora che i nostri fratelli, con ammirevole eroismo strappano al nostro eterno nemico le nostre belle terre che egli teneva ancora in servitù. Si, anche a noi, che non possiamo offrire la vita alla patria, anche a noi resterà una guerra. Sarà una guerra feroce ma silenziosa, implacabile ma priva di entusiasmi. Non sarà una guerra di sterminio ma sarà una lotta per l'esistenza, sarà la lotta contro l'ozio e l'inerzia, la lotta per non farsi vincere dalla comodità di avere senza fatica quello che non ci sappiamo procurare da noi. Sarà infine la guerra per impedire il ripetersi di questa guerra. E non bisognerà dire, come finora hanno detto molti: "oggi non ne ho voglia, comincerò domani" No! Bisogna cominciare oggi stesso. Per ora a noi giovani tocca [*spetta*] la preparazione, poi bisogna agire. E questo è per noi un grande dovere, perché sarebbe un delitto il permettere che il sangue dei nostri [[^]] fosse versato inutilmente e che dopo tanta guerra si ritornasse al punto di prima. Ma le vite dei nostri giovani e il pianto delle nostre madri hanno già dato un frutto: [*quello di*] lo svegliare gli italiani e il far loro comprendere che prima noi eravamo servi. Speriamo che tutti si ricordino di questo grande ammonimento! Molto dunque resta da fare ma tutto sarà possibile se ogni Italiano fin da questo momento terrà sempre fissi gli occhi al nobile fine che si propone di raggiungere: Avanti! Sempre avanti!

Il componimento⁹ ebbe il seguente giudizio "si sente lo sforzo nell'invenzione", e il voto 7-.

Ebbe invece 8 il secondo tema, del 20 gennaio 1916, che ha per titolo: "*Frangar, non flectar*":

Era freddo di fuori, ma i rigori dell'inverno non penetravano in quel salottino ben riscaldato. Due uomini stavano seduti uno di fronte all'altro: il primo rivoltosi con accento minaccioso e volto irato al secondo "Se voi non lo farete, disse, sappiate che io vi rovinerò, voi e tutta la vostra famiglia" "No! - rispose l'altro, - neanche per tutto l'oro del mondo mi piegherei a commettere un'azione così vile. So bene che voi potete far di me quel che volete, ma non potrete mai farmi disonesto" L'altro allora, cambiata espressione ed avvicinatosi

con tono lusinghiero "Pensate, Giovanni, disse, pensate ai vostri figli, a vostra moglie che soffrono la fame. Se non mi volete aiutare i poverini si troveranno soli [//] se invece acconsentite [*consentirete*] a svelare i vostri compagni, sarete immediatamente rilasciato, vi farò ricco, i vostri piccini non soffriranno più" A queste parole la forza dell'altro vacillò, il suo pensiero volò in un misero tugurio, dove sua moglie e i suoi figli piangevano per lui, ed una lagrima gli bagnò le guance. L'altro, visto l'effetto prodotto dalle sue parole continuava: "Pensateci, pensateci ai vostri figli, [//] essi sono innocenti e sarebbe un vero delitto che per colpa vostra dovessero morire di fame" "Come, per colpa mia? Pensò l'altro, è dunque una colpa fare il possibile per liberare la patria dall'oppressore? E' dunque una colpa dare la propria vita per salvare quella di tanti altri? E pensò ai suoi compagni la cui salvezza dipendeva da lui, pensò alla vita, che avrebbe mantenuto a prezzo del tradimento, ricca ma maledetta da tutti e dalla patria, pensò al rimorso che lo avrebbe per sempre perseguitato ed esclamò: "No! aguzzino, non sarà mai che tu mi pieghi ad un sì basso tradimento!" Qualche giorno dopo dava anch'egli la vita alla patria rimpianto da tutti, come tanti nostri martiri. Ma il sangue di tanti eroi doveva ben presto dare i suoi frutti.

Lo stesso voto, 8 ebbe il tema del 17 febbraio 1916: "*Una nazione in cui abbondano i caratteri, è come una rupe contro cui ogni violenza di vento fremere indarno*".

Finché nei cittadini di Roma si mantennero la forza e la virtù, la città fu grande; ma quando questa virtù e questa forza vennero meno, inevitabilmente decadde. Dapprima il suo popolo, rustico ed incolto, aveva un solo desiderio: essere, non solo figurare, onesto, forte ed amante della patria. Sorretti da questo desiderio i suoi cittadini andavano sereni incontro ai più gravi patimenti ed alla morte, paghi solo della coscienza di aver compiuto il proprio dovere; e solo a questo modo la città eterna poté fiorire passando intrepida fra mille e mille pericoli, uscendone sempre più forte e più altere, e mostrandosi più grande e più ammirevole nelle asprità che nella fortuna. Non le grandi doti militari di alcuni suoi generali, né quegli eroismi, che la storia ci ha tramandati, valsero a renderla la prima città del mondo ma gli oscuri sacrifici e l'incrollabilità della virtù di tutti i suoi figli; non furono né Orazio Coclite, né Muzio Scevola, né Scipione che salvarono la città dalla servitù, fu il popolo romano, che non si lasciò scoraggiare dall'avversa fortuna e ringraziò Varrone di aver ricondotto a Roma i resti dell'esercito battuto a Canne. Ma quando a queste virtù subentrò il desiderio dell'oro, e i cittadini cominciarono a preferire il proprio interesse a quello dello stato, a non essere più disposti a sacrifici per la patria, Roma cominciava già ad avviarsi verso la decadenza, a non sentire più in sé la forza di governarsi così che in breve la sua grande potenza divenne preda ai barbari.

Mi pare che questi compiti confermano il giudizio dei professori di Enrico: molto bravo ma ancora nella normalità; però tanto bravo da presentarsi all'esame di licenza al termine del secondo liceo, saltando l'ultima classe proprio come aveva fatto l'amico Persico l'anno prima e riuscire ad essere promosso con voti eccellenti: 4 dieci, 3 nove e 4 otto. Questo giudizio trova un riscontro obiettivo in una analisi statistica¹⁰, basata sul confronto tra il voto medio di tutta la classe, la media di Enrico e quella di altri studenti bravi della classe:

Classe (n. studenti)	I A (28)	II A (28)	III A (31)	IV B (29)	V B (43)	I B (28)	II B (28)
Tutta la Classe	6.0	6.6	6.5	6.5	6.3	6.5	7.4
Enrico Fermi	8.1	8.0	9.0	8.9	9.3	8.8	9.5
A. Regolo Fraiese	7.9	7.7	8.0	8.7	9.0	-	-
Raffaello Amati	-	8.1	9.4	-	-	-	-
Maria Polacco	-	8.7	8.4	-	-	8.7	9.0
Desiderio Bastianello	-	-	8.3	-	-	-	-
Rodolfo Drusco	-	-	-	-	-	8.2	8.8

Un'altra tabella mette a confronto la media dei tre fratelli e di Enrico Persico:

Classe	I	II	III	IV	V	I	II
Maria Fermi	8.9	9.3	9.3	8.9	9.2	9.3	8.9
Giulio Fermi	8.0	8.6	8.4	8.8	8.7	-	-
Enrico Fermi	8.1	8.0	9.0	8.9	9.3	8.8	9.5
Enrico Persico	7.7	7.6	7.7	8.4	8.0	7.9	8.6

Si vede subito che Enrico ha una media inferiore a quella di Maria e superiore a quella di Giulio. Persico si mantiene sempre abbastanza distante dai tre Fermi.

Da non molto si sono resi disponibili altri documenti del periodo liceale che permettono di istituire un confronto tra le sue doti scientifiche e quelle del versante umanistico. Da essi emerge l'eccezionale ampiezza e profondità delle conoscenze di fisica e di matematica che Enrico aveva progressivamente acquisito nei suoi studi scientifici durante i due anni del liceo.

Conservato in una cartella presso la *Domus Galileiana* di Pisa ho potuto recentemente esaminare un quaderno autografo a cui finora non era stata data importanza, forse l'unico rimasto di molti altri che Fermi aveva riempito con esercizi e riassunti in quegli anni del liceo. La cartella, che contiene altri scritti giovanili, era stata depositata da Laura Fermi alla Domus poco dopo la morte del marito. Il quaderno, per gli argomenti trattati, può essere fatto risalire alla fine del 1917 o all'inizio del 1918, certamente prima della licenza liceale.

Le pagine scritte sono in tutto 40: quelle numerate vanno da 1 a 35, ma con un salto di due pagine perché la pagina 29 è curiosamente rinumerata 31. Dopo la pagina 35 seguono sette pagine non numerate. Le prime due pagine non numerate, annullate da un "errato". scritto di traverso, trattano del cammino libero medio di una molecola.

Segue una pagina con l'equazione di una barra vibrante, fissa ad una estremità. Viene poi la soluzione dell'equazione della diffusione del calore, seguita da una breve discussione sull'elasticità dei solidi isotropi e dalla tabella di costanti dielettriche dei gas, che è la sola di queste carte che viene riportata in indice senza numero di pagina.

Le ultime due pagine contengono l'indice. Lo trascrivo compiutamente perché costituisce la descrizione più sintetica che si possa fare del quaderno.

Indice

*Quantità di calore che attraversa le pareti di un recipiente - **Pag 1***

*Alcuni coefficienti di dilatazione nei solidi - **Pag 1***

*Calore specifico dell'acqua - **Pag 2***

*Calore specifico di alcuni corpi - **Pag 3***

*Vaporizzazione dell'acqua - **Pag 3***

*Tensione dei vapori saturi - **Pag 3***

*Temperatura e pressioni critiche - **Pag 5***

*Punti di fusione - **Pag 5***

*Equazione di van der Waals - **Pag 6***

*Calori specifici di alcuni gas - **Pag 6***

*Indici di rifrazione - **Pag 7***

*Pile elettriche - **Pag 7***

*Giroscopio - **Pag 7***

*F.e.m. sviluppata da una pila - **Pag 8***

*Gravità - **Pag 9***

*Fusione dei fili elettrici - **Pag 9***

*Resistenza d'attrito contro i fluidi moventesi nei tubi - **Pag 9***

*Combustibili - **Pag 10***

*Perturbazioni elettromagnetiche - **Pag 10***

*Scariche di un condensatore - **Pag 12***

*Perdite per isteresi e correnti parassite - **Pag 13***

*Skin-effect - **Pag 13***

*Sfasamento del flusso rispetto alla f.e.m. - **Pag 14***

*Tensione ai morsetti delle dinamo a circuito aperto - **Pag 14***

*Velocità delle molecole di alcuni gas a 0 gradi - **Pag 15***

*Integrazione delle equazioni a derivate parziali - **Pag 16***

*Formule di calcolo delle variazioni - **Pag 20***

*Formule per il vapor d'acqua - **Pag 24***

*Formule teoriche per il vapor d'acqua - **Pag 24***

*Leggi di Kirchoff, Wien, Stefan e Plank - **Pag 25***

*Riflessione dell'energia raggiante - **Pag 25***

*Conduttori ellittici - **Pag 26***

*Corpuscoli elettrici in movimento - **Pag 27***

*Principio di relatività - **Pag 28***

*Teoria elettronica - **Pag 29***

*Resistenze - **Pag 32***

*Diffrazione [sic!] - **Pag 32***

*caratteristiche molecolari di alcuni gas - **Pag 35***

*Unità di misura - **Pag 34***

Costanti dielettriche di gas e vapori

Non è possibile commentare pagina per pagina il quaderno, e non mi resta che segnalare alcuni punti interessanti^{[11](#)}:

a) Vi sono ben 12 tabelle, alcune molto consistenti, che riportano proprietà fisico-chimiche di vari materiali. Non mi è stato possibile identificare nessuna delle tabelle con tabelle analoghe riportate dai più comuni manuali italiani di fisica (Róiti, Naccari e Bellati, Murani) o dal Chwolson e dal Violle, anche se i dati numerici sono presenti in modo parziale in molte delle loro tabelle. Non è possibile quindi decidere per ora se risalgono ad una unica fonte determinata o se sono state costruite utilizzando più fonti.

IMMAGINE

b) "Sulla integrazione delle equazioni differenziali a derivate parziali" è una sintesi in cinque pagine, assai efficace, di teorie ed applicazioni tratte da due capitoli delle *Lezioni di Analisi infinitesimale* di Ulisse Dini¹², e precisamente dalle pagine 257-280 del "Calcolo differenziale" e dalle pagine 874-916 del "Calcolo integrale".

c) In poco più di una paginetta sono trascritte le formule essenziali della relatività ristretta di Einstein: trasformazioni delle coordinate, delle velocità e del campo elettromagnetico.

In una intervista¹³ Persico disse a proposito: "Fermi era già molto informato sulla fisica moderna, specialmente sulla relatività. Io ho appreso dell'esistenza della relatività attraverso Fermi. Io ricordo che una volta gli chiesi che cosa avrebbe voluto fare se avesse avuto una grande somma da investire in ricerca scientifica ed egli mi disse 'Relatività, esperimenti di relatività'. Sì, io non posso dire quando accadde, ma ricordo molto bene che noi eravamo a malapena studenti al Liceo. Io prima di allora non ero informato dell'esistenza della relatività".

d) L'equazione che descrive il moto vibratorio di una sbarra omogenea che oscilla incastrata in un estremo è di grande interesse, perché è sostanzialmente la stessa di quella che discuterà in seguito nel famoso tema di fisica per l'ammissione alla Scuola Normale Superiore. In più vi è solo l'effetto aggiuntivo di una massa M concentrata all'estremità libera.

IMMAGINE

Non credo che il quaderno sia frutto dell'attività dell'estate 1918 dedicata alla lettura del *Chwolson*, quando secondo il consiglio di Amidei si preparava all'esame di ammissione alla Normale¹⁴. Il continuo cambiare di inchiostro e di calligrafia suggerisce piuttosto una redazione durata parecchio tempo; anche l'estensione di alcune tabelle delle prime pagine fa pensare ad una certa disponibilità di tempo.

I compiti per l'ammissione alla Scuola Normale Superiore (1918)

La fama della precocità di Fermi viene soprattutto dal suo famoso compito di Fisica per l'ammissione alla Scuola Normale Superiore, largamente e giustamente pubblicizzato. Il testo è stato analizzato con grande attenzione¹⁵ e mi restano poche ulteriori osservazioni.

Tutti i compiti si presentano con un tale ordine, da destare meraviglia. Si è visto che Fermi aveva studiato in dettaglio l'equazione della verga elastica inserendola nel suo quaderno di appunti. L'equazione nel compito viene introdotta come esempio¹⁶ di sorgente del suono. Sorprende che sia scritta e non dedotta, come se l'avesse fissata nella sua memoria eccezionale. La spiegazione è diversa e poteva essere immaginata: come tutti i compiti anche questo è il risultato di una precedente "brutta copia".

Nella brutta copia, che prima di ora non era stata presa in considerazione, si vede come Enrico deriva l'equazione e imposta la soluzione. È interessante notare che prima di studiare la verga vibrante, Fermi nella brutta copia si preoccupa di stabilire la presentazione dell'equazione della propagazione del suono, che svolge secondo la traccia del Poisson¹⁷. Anche il problema "pratico" del calcolo dell'intensità della corrente misurata con la Bussola delle Tangenti richiede conti non piccoli, che sono svolti in vari fogli veramente brutti, pieni di appunti scompigliati e nervosi, assai differenti dalla "bella copia".

IMMAGINE 1 - IMMAGINE 2 - IMMAGINE 3

L'analisi di tutti i compiti sarà presentata negli Scritti giovanili inediti, che ho in preparazione, di cui questa relazione è una parte.

Gli anni dell'Università (1918-1922)

Fermi ha mostrato subito il desiderio di pubblicare qualche lavoro. In una lettera a Persico del 12 febbraio 1919, a metà del primo anno di università, scrive: "avrei intenzione di fare una lunga serie di studi tutti dello stesso genere per pubblicarli poi in blocco e credo che per completarli come ho intenzione mi occorrerà per lo meno un anno di lavoro". Una traccia di questi tentativi è rimasta in un altro quaderno molto interessante interamente scritto a matita, compilato durante il 1920, e anch'esso conservato nella cartella di Laura Fermi alla Domus Galileiana.

Il quaderno è costituito da XIX articoli, di cui quattro sono riassunti di lavori dello stesso Fermi e gli altri quindici sono riassunti di lavori altrui: cinque di Langevin, due di Einstein, due di Sommerfeld, due di Levi-Civita, e poi Richardson, Bohr, Laue e Debye.

Nei riassunti, che sono tutti estremamente chiari e alcuni anche estesi, Fermi mostra di aver acquisito una propria notazione che sostituisce nelle formule a quella originaria, quando non coincide. Sono riassunti esemplari. Ma il fatto più interessante è rappresentato dai riassunti di alcuni suoi lavori, rimasti inediti.

Il primo, datato luglio 1920, ha per titolo: *Una nuova disposizione per lo studio degli spettri di alta frequenza*. Fermi vi espone la teoria su cui si fonda un dispositivo per la misura della lunghezza d'onda di una radiazione monocromatica. Per la realizzazione si utilizzano un cristallo a superficie curva, una lastra fotografica disposta su un supporto a forma ellissoidale, un canocchiale e un cerchio graduato. Quando il cristallo ruota, la lastra fotografica fissa lo spettro della radiazione.

Un secondo riassunto, anch'esso inedito, dell'agosto 1920, *Sopra l'assorbimento del suono nei gas*, è un ampio lavoro di carattere completamente teorico. Dall'equazione caratteristica per il moto del gas, che relaziona spostamento, pressione e temperatura, trascurando il calore per attrito, giunge ad una soluzione con assorbimento che corrisponde a due propagazioni con la stessa velocità ma direzione opposta.

Il terzo lavoro (IMMAGINE), del settembre 1920, ha per titolo: *La reazione della radiazione sopra un sistema rigido di cariche elettriche in moto traslatorio*. Si tratta di parte del suo primo lavoro pubblicato¹⁸: "Sulla dinamica di un sistema rigido di cariche elettriche in moto traslatorio". Solo per curiosità segnalo che alla fine del riassunto, si trova di nuovo *accelerato* errore già incontrato nel primo quaderno!

L'ultimo riassunto, inedito, del dicembre 1920, ha per titolo *Le azioni gravitazionali esercitate da una distribuzione sferica di elettricità superficiale*.

Un altro quaderno del 1919, che porta scritto nella prima pagina *Alcune teorie fisiche*, noto a molti per la descrizione ammirata che ne ha fatto Segré, è stato recentemente studiato in maniera completa¹⁹. Anche i lavori pubblicati da Fermi durante il corso universitario sono stati oggetto di studio²⁰, per cui sarebbe superfluo toccare di nuovo questo argomento.

La tesi di Laurea

Nell'agosto del 1919 Fermi scrive a Persico: "mi sono deciso definitivamente per la Photoelectricity, ma non posso cominciare nulla prima che sia tornato Eredia²¹ che pare sarà a Roma dopo il 19". Quasi un anno dopo, il 30 maggio 1920 gli scrive: "Per la mia tesi ho quasi abbandonato l'idea dell'effetto fotoelettrico dei gas. Non sarebbe impossibile che mi occupassi invece degli interessanti fenomeni di diffrazione dei raggi Röntgen nei cristalli, tanto più che spero di poterli mettere facilmente in relazione con la teoria statistica perché, a quanto credo, nei raggi di Röntgen debbono apparire assai più marcate le differenze dall'ordinaria teoria ondulatoria".

La tesi di laurea è delineata, Fermi è già attivo. Il 29 novembre 1920 scrive all'amico: "ho già iniziato il mio lavoro sulla cristallografia Röntgen. Il primo problema da affrontare è stato quello di proteggere me ed i miei collaboratori dall'azione dei raggi X. Ho raggiunto lo scopo inserendo il tubo di raggi Röntgen in una cassetta di piombo dello spessore di circa 3 mm. Non è stato affatto un lavoro semplice costruire la linea d'alta tensione dall'induttore al tubo. Ho dovuto proteggere diversi tratti della linea con due o tre tubi di vetro, per impedire che si sprigionassero scintille tra la linea stessa e la cassetta di piombo. Io uso un grande induttore che fornisce scintille di circa 40 cm, con un interruttore elettrolitico (500 interruzioni al secondo)."

IMMAGINE

Ha quasi tutti gli strumenti che occorrono, manca solo la pompa rotativa a mercurio (Cacciari) che il prof. Puccianti compra nel marzo 1921 per ben 1350 lire.

Nello Carrara, che è uno dei "collaboratori" di Fermi, entrato in Normale nel 1917, si laurea il 13 luglio 1921 con la tesi *Cristalli e Raggi X*, per quale ammette volentieri di aver avuto un buon aiuto da Fermi per la parte teorica. Il dispositivo sperimentale che usa è lo stesso di quello che userà Fermi per la parte sperimentale della sua tesi, che ha per titolo *Studii sopra i raggi Röntgen*. **IMMAGINE** - **IMMAGINE** - **IMMAGINE**

Non è possibile analizzare in questo contesto i contenuti della tesi, di cui erano noti solo il primo e il quarto capitolo²². Mi limito a ricostruire un interessante aspetto, che può contribuire a far conoscere la personalità del giovane Fermi, che poi è la cornice che ho voluto dare alle mie osservazioni.

Il secondo capitolo della tesi: problemi di originalità

Sono stato finora trattenuto dal pubblicare la tesi da alcune difficoltà obiettive. Una di queste difficoltà ha per fondamento una questione di originalità, che riguarda l'inizio del secondo capitolo della tesi, quello che ha per titolo *Sulla teoria dell'influenza dell'agitazione termica sopra la diffrazione dei raggi Rontgen nei cristalli*. **IMMAGINE**

Il motivo del dubbio è questo: all'inizio del secondo capitolo Fermi cita due importanti lavori di P.Debye, uno del 1912 sui calori specifici e uno del 1913 sulla diffrazione dei raggi X. Nel primo lavoro di Debye vi è una rappresentazione più corretta dei moti termici nei corpi solidi che Fermi si propone a sua volta di applicare alla diffrazione dei raggi X; scrive: "In altre parole, partendo dalla teoria di Debye dei moti termici dei corpi solidi mi propongo di perfezionare l'altra teoria di Debye sopra la diffrazione."

Il secondo lavoro di Debye a cui Fermi fa riferimento era stato pubblicato nella rivista tedesca *Verhandlungen Deutschen Physikalischen Gesellschaft* nell'agosto del 1913, come risulta anche dalla nota apposta nella tesi manoscritta.

C'è però un serio problema: Debye, dopo questo lavoro, aveva pubblicato nel 1914 nella rivista *Annalen der Physik* un ampio ed esauriente lavoro²³ dal titolo *Interferenza dei raggi X e moto termico*. Questo è proprio il tema del secondo capitolo della tesi! In questa pubblicazione Debye dichiara di aver esteso la sua teoria introducendo la rappresentazione del moto termico degli atomi che egli aveva usato per i calori specifici, perché gli sembra più vicina alla realtà. I propositi sono simili a quelli di Fermi, che li enunciava però nella sua tesi otto anni dopo.

Nella tesi manoscritta che Fermi aveva consegnato per l'esame di laurea, e che avevo trovato nel 1990, non appare mai citato il lavoro del 1914. Era possibile che Fermi non avesse letto questa pubblicazione, molto citata in quegli anni?

Nel 1915 l'Italia era entrata in guerra con la Germania: forse all'epoca in cui Fermi scriveva la sua tesi non erano ancora arrivati gli *Annalen der Physik* del 1914.

Il dubbio si è rivelato inconsistente dopo una accurata ricerca nei *buoni d'ingresso* dell'Istituto di Fisica che ha portato a concludere che in biblioteca c'erano senz'altro gli *Annalen der Physik* del 1914, tanto più che Fermi cita nella tesi anche un altro lavoro pubblicato in questa rivista nel 1915.

Recentemente un fatto nuovo mi ha permesso di acquisire la certezza che Fermi conoscesse il lavoro di Debye. Infatti tra le carte contenute nella cartella di Laura Fermi alla Domus Galileana esistono ben due versioni di questo capitolo, insieme ad una prima stesura della tesi. Ambedue hanno l'aspetto di essere state scritte come un lavoro da pubblicare a sé. Una redazione del lavoro, che si estende per sette pagine, firmata e datata: Pisa, maggio 1921, porta il titolo *Sulla teoria dell'influenza della temperatura sopra la diffrazione dei raggi Röntgen nei cristalli*. **IMMAGINE**

In basso nella prima pagina si trovano citati insieme i due lavori del 1913 e del 1914.

Un'altra redazione, senza data, ma che appare più completa, ha per titolo *Un perfezionamento della teoria di Debye dell'influenza dell'agitazione termica sopra la diffrazione dei raggi Röntgen nei cristalli* (**IMMAGINE**) e ugualmente porta nel margine basso della prima pagina la stessa duplice citazione. Dunque Fermi conosceva almeno l'esistenza del lavoro di Debye.

E' opportuno far notare che i lavori di Debye e Fermi non si somigliano affatto, il primo lunghissimo e anche troppo dettagliato, il secondo chiaro e semplice, secondo il migliore stile di Fermi.

Si può affacciare un'ipotesi.

Fermi parallelamente alle sue ricerche sull'elettrodinamica e sulla relatività, che portarono a lavori molto apprezzati dai matematici romani, scrive nel 1920 due lavori, in cui introduce l'ipotesi dei quanti, inaugurando così le sue ricerche nel campo della nuova teoria che aveva avuto origine con Planck.

Il più antico dei due lavori²⁴, datato marzo 1921, ha per titolo *Sopra le oscillazioni elastiche di grandissima frequenza e sulla teoria dei calori specifici secondo Debye*, ed in esso non appare nessuna citazione del lavoro di Debye del 1914. Dell'altro ne abbiamo appena parlato prima: è il fondamento del secondo capitolo datato maggio 1921, ed in esso appare per la prima volta la citazione del 1914.

E' molto probabile che i due lavori siano stati pensati e scritti da Enrico prima di leggere il lavoro di Debye del 1914. Poco dopo Fermi legge l'articolo, aggiunge la nuova citazione e arriva alla decisione di non pubblicarli.

Al momento di scrivere la tesi Fermi, accorgendosi di avere poco materiale, decide di inserire questo lavoro, ma sopprime la citazione, in vista forse delle critiche, che si aspetta di ricevere, perché non aveva potuto presentare risultati molto buoni nella parte sperimentale della tesi, che era un requisito allora indispensabile, almeno a Pisa. Non era quindi il caso di far sospettare che non fosse completamente originale il secondo capitolo della tesi, quasi tutto teorico, che prevedeva risultati impossibili da osservare.

La tesi non piacque a Fermi: lo scrive esplicitamente nella lettera del 18 marzo 1922 diretta all'amico Enrico Persico:

"Anche io in questi giorni ho avuto ed ho parecchio da fare un po' per la mia tesi che, fra parentesi è venuta una porcheria delle più solenni. Essenzialmente sarà costituita dalle seguenti parti: Introduzione con cenno storico e riassunto dello stato attuale della questione; parte teorica consistente in alcuni studii sopra il potere risolutivo nella riflessione sopra cristalli molto sottili in luce curva e nello studio completo dell'effetto dei moti termici sulla riflessione dei raggi X; parte sperimentale consistente nell'ottenere, per mezzo di riflessione sopra lamine di mica curva, delle fotografie dell'anticatodo ^a alla Lockyer. Come vedi il programma è abbastanza modesto. In compenso ha il pregio di esser ormai quasi completamente eseguito. Certo prima delle vacanze di Pasqua sarà del tutto completato e non resterà che finir di scrivere."

La tesi non soddisfece neanche le aspettative della commissione di laurea, per lo meno così riferisce una persona che fu presente, la madre di Franco Rasetti: "Andai con altri amici ad assistere all'esame di laurea di Fermi. Mi aspettavo una scena insolita e piacevolmente drammatica. Gli undici professori erano seduti a un lungo tavolo. Fermi davanti a loro, spiegava la sua tesi. Gli esaminatori erano pieni di dignità; ma io osservavo bene l'aspetto della loro faccia professorale: esprimeva stupore, o noia, o sonnolenza o meraviglia."