

# FISICA/ MENTE

<http://www.fondazionegalileogalilei.it/centro/scienza/fermi/fermi01.html>

## 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 giovanili<sup>1</sup> 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 notizie<sup>2</sup> sulla formazione culturale di Enrico nel periodo dell'adolescenza e sul ruolo che svolse in quegli anni un collega del padre, l'ingegnere Adolfo Amidei<sup>3</sup>.

Emilio Segré ha in seguito pubblicato<sup>4</sup> 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 occorreva - 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 Chwolson<sup>5</sup> procede celermemente 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 anno<sup>6</sup> 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 Persico<sup>7</sup> 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 professori<sup>8</sup> si era accorto che fosse un ragazzo prodigo". Questo giudizio prudente davanti alla parola "prodigo" 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 ammirabile 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 componimento<sup>9</sup> 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 si 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 freme indarno*".

Finché nei cittadini di Roma si mantenne 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 ammiravole 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 ringrazio 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 sacrificii 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 statistica<sup>10</sup>, 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)
<i>Tutta la Classe</i>	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*

*Difrazione [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<sup>11</sup>:

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.

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 Dini<sup>12</sup>, 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 intervista<sup>13</sup> 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'. Si, 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.

Si tratta di una storia singolare. A lungo prima di iniziare a scrivere, Fermi aveva studiato le equazioni della verga elastica. E aveva studiato l'equazione della verga I che sia incastellata su un albero, e' scritta all'estremo libero i concetti una massa M. e la oscillazione non si allontana dalla posizione di equilibrio si ha

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{M}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

con le condizioni ai limiti per  $x=0$  e  $x=L$

$$y = \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

I periodi propri del sistema non hanno frequenza

$$v = \frac{L}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{M}}$$

dove  $L$  è radice dell'equazione

$$0 = \frac{1}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{M}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\cos kx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{1}{k^2} y = 0$$

nel caso  $M=0$  la presentata equazione diventa, posto  $x=L$

$$\cos kL = -1$$

e la frequenza diventa

$$v = \frac{L}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{M}}$$

il più piccolo valore della  $x$  è circa 1,87 cm quale valore si ha

$$v = \frac{0,398}{L} \sqrt{\frac{EI}{M}}$$

L'integrale dell'equazione con la condizione che per  $t=0$  sia  $T = T_0(x)$  è

$$T = \frac{1}{\sqrt{EI}} \int_0^{\infty} T_0(s) e^{-\frac{(t-s)^2}{4EI}} ds$$

se per esempio si suppone che per  $x>0$  sia  $T_0(x) = T_0$  e per  $x<0$   $T_0(x) = -T_0$  si trova

$$T = \frac{\pm T_0}{\sqrt{EI}} \int_{\frac{L}{2\pi k}}^{\infty} e^{-s^2/4EI} ds = T_0 \Theta\left(\frac{x}{2\pi k}\right)$$

Illustrazione dei soliti concetti

Illustrazione con alcune molto piccole o le spostamenti di un punto del solido dalla posizione naturale al tempo  $t$ ; con  $F$  la forza agente sull'unità di massa con la densità sarà:

$$p \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - pF = \frac{1}{2} (1-\beta) \Delta x + \frac{1}{2} (1-\beta) \text{ grad div } \sigma$$

o, che è lo stesso

$$p \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - pF = \Delta x + \frac{1}{2} (1-\beta) \text{ grad div } \sigma$$

rispondendo ad una forma di un'antagonale al  $x, y, z$ ) e posto  $\sigma = (u, v, w)$  si ha per le pressioni

$$-p_{xx} = (1-\beta) \frac{\partial u}{\partial x} + \beta \text{ div } \sigma$$

$$-p_{xy} = p_{yz} = \frac{1}{2} (1-\beta) \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

La rotazione dell'elioscopio delle deformazioni che per componenti,  $\text{rot } x = \frac{1}{2} \text{ rot } y + \frac{1}{2} \text{ rot } z$

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 Normale<sup>14</sup>. 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 attenzione<sup>15</sup> 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 esempio<sup>16</sup> 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. E' 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 Poisson<sup>17</sup>. 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".

grado della bobina  
 Altezza = numero delle spire di una sezione in un numero  
 Necessario per fornire un numero di altezza, di spazio,  
 ferme, tensione,  
 Cambio buon armature - ponenteografo di ferro  
 eccetera

Problema

Una corrente elettrica, di intensità costante, in una  
 bobina delle  $100$  spire avvolte su un cerchio maggiore  
 di raggio  $10$  cm

numero delle spire  $100$   
 raggio del cerchio  $10$  cm

tempo per mag. max  $0,2356$  [cas]

Calcolare l'intensità della corrente  $[0,05]$

I calcoli dell'az. di una spira sono i medesimi  
 se una pola sta nel suo centro

Legge di Biot-Savart

$$f = \frac{\mu_0 i \cdot \pi r^2}{2} \quad \text{dove } r = 10 \text{ cm}$$

perciò  $f = \frac{\mu_0 i \cdot \pi r^2}{2}$

L'az. di una spira sarà

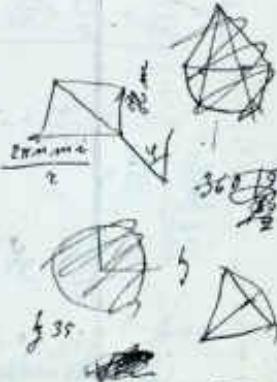
$$f = \frac{2\pi n \cdot i}{2}$$

$$\frac{2\pi n \cdot i}{2} = \frac{\mu_0 i \cdot \pi r^2}{2} \quad \text{dove } r = 10 \text{ cm}$$

$$i = \frac{\mu_0 r^2}{2\pi n} \cdot \frac{1}{2}$$

$$i = \frac{0,2356 \times 25,1 \times 10^{-3}}{2 \times 3,1416 \times 5}$$

$$\frac{\sqrt{5}-1}{4} = \sin \frac{2\pi}{5} \quad \text{e} \quad 136 = 1 - 2 \sin^2 \frac{\pi}{5} \quad \frac{x^2 - x(1-x)}{2x^2} = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}$$





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 elissoidale, 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, del settembre 1920, ha per titolo: *La reazione della radiazione sopra un sistema rigido di cariche elettriche in moto*

-58-

L'impulso in Paura' allora:

$$\frac{4\pi^2}{\hbar} \sum_m \sum_n \sum_p \frac{E_1 \bar{E}_2}{E_1 + \bar{E}_2}$$

e la intensità  $J$

$$J = \frac{A^2}{\hbar^2} \sum_m \sum_n \sum_p \sum_{\alpha, \beta} \frac{E_1 \bar{E}_2}{E_1 + \bar{E}_2}$$

Dove  $\bar{E}_1, \bar{E}_2$  rappresentano le coniugate di  $E_1, E_2$  ma con  $m, n, p$  come sostituiti con  $m_1, n_1, p_1$ .

Calcoliamo da  $J$  l'intensità media  $J_m$  moltiplicando  $J$  per la probabilità  $\Phi_1$  di una generica disposizione degli atomi a scorrere con tutte le possibili disposizioni. Ma questa operazione è allora il solo fattore

Quando  $(m, n, p) \neq (m_1, n_1, p_1)$  la media di  $E_1 + \bar{E}_2$  è 0

Sovra:

$$-\frac{4}{\hbar^2} M = 2E \left[ 1 + \frac{2}{\pi} \cos \varphi + \frac{2}{\pi} \sin \varphi \right] = \frac{4}{\pi \hbar^2} \left( \frac{1}{\cos \varphi} + \frac{2}{\pi} \right)$$

il secondo termine in parentesi quadra è necessario per l'assorbimento, non c'è dubbio, poiché gli atomi hanno di comune assorbimento per il percorso di una lunghezza finita. Ma non possiamo scrivere:

$$M = \frac{4\pi^2}{\hbar^2} k^2 \left( 1 + \frac{2}{\pi} \cos \varphi + \frac{2}{\pi} \sin \varphi \right)$$

da  $m = m_1, n = n_1, p = p_1$  la media di  $E_1 + \bar{E}_2$  è

$$\frac{2\pi}{\hbar^2} \left( \frac{1}{\cos \varphi} + \frac{2}{\pi} \right)$$

Ma, visto le medesime considerazioni per cui  $p = p_1$  è  $\frac{1}{2}$  e la forza elettrica dovuta a una sorgente uniforme è  $-\frac{1}{2}$  non c'è da sorprenderci che l'intera formula della potenza di reazione per il moto sia

$$J_m = \frac{4\pi^2}{\hbar^2} \left( 1 - \frac{1}{2} \right) \sum_m \sum_n \sum_p \frac{E_1 \bar{E}_2}{E_1 + \bar{E}_2}$$

Si effettua la somma indicata

-59-

$J_m = \frac{A^2}{\hbar^2} \left[ \frac{N(1 - \delta^2)}{1 + \frac{2}{\pi} \cos \varphi} + \delta^2 \Phi_1 \Phi_2 \Phi_3 \right]$

Dove con  $N$  si è assumuto il numero di atomi contenuti in un parallelepipedo di spigoli  $a, b, c$  e  $\delta$  è posto

$$\delta = \frac{\sin^2 N_1 \frac{ka}{\pi} \frac{nb}{\pi} \frac{pc}{\pi}}{\sin^2 \left\{ \frac{ka}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}$$

$\Phi_1 = \frac{\sin^2 \left\{ \frac{ka}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{ka}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}$

$\Phi_2 = \frac{\sin^2 \left\{ \frac{nb}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{nb}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}$

$\Phi_3 = \frac{1}{\pi} \frac{\sin^2 \left\{ \frac{pc}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\} - \cos^2 \frac{pc}{\pi} \left( 1 + \frac{2}{\pi} \cos \varphi + \frac{2}{\pi} \sin \varphi \right)}{\sin^2 \left\{ \frac{pc}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}$

e approssimativamente

$$\Phi_1 = \frac{1}{4} \frac{\sin^2 \left\{ \frac{ka}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\} + \sin^2 \left\{ \frac{ka}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{ka}{\pi} \left( \cos \varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right\}}$$

XVI

1920 dicembre

1. Fermi - La reazione della radiazione sopra un sistema rigido di cariche elettriche in moto traslatorio

È noto che (vedi p.e. Richardson, *Theory of Matter*, 2a, II) la forza elettrica dovuta a una sorgente uniforme è  $-\frac{1}{2}$  non c'è da sorprenderci che l'intera formula della potenza di reazione nella sorgente della sorgente alla velocità costante libe

l'assorbimento della forza tale nella legge di Coulomb. Il secondo è dato da:

$$E_1 = \frac{F_1 a}{\hbar^2} = \frac{1}{\hbar^2} \Gamma^2$$

traslatorio. Si tratta di parte del suo primo lavoro pubblicato<sup>18</sup>: "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 accellerato 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 completa<sup>19</sup>. Anche i lavori pubblicati da Fermi durante il corso universitario sono stati oggetto di studio<sup>20</sup>, 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 Eredia<sup>21</sup> 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)."

Studi sui raggi Röntgen.

Notazioni. In tutto questo lavoro useremo costantemente le seguenti notazioni:

$e$  = carica elettronica (a.e.s)

$m$  = massa elettronica.

$c$  = velocità della luce.

$h$  = costante di Planck.

$N$  = numero di Avogadro.

$Z$  = numero atomico.

$A$  = peso atomico.

$\lambda$  = lunghezza d'onda.

$\nu$  = frequenza.

$d$  = distanza tra piani reticolari paralleli.

$n$  = ordine degli spettri.

Capitolo I

I raggi Röntgen

gli raggi Röntgen o raggi X furono scoperti casualmente nel 1895 da W.C. Röntgen che osservò che le piastrelle del gabinetto di un tubo d'aria e raggi catenici che erano colpiti da questi mettevano a loro volta dei raggi che tra透過ava le piastrelle del tubo e molti corpi opachi.

che alla luce ordinaria, impressionavano le lastre fotografiche e rendevano fluorescere soluzioni di platinocianuro di bario e di altre sostanze.

Alta sospetta seguirono numerose ricerche che mettevano in evidenza le prime proprietà, principalmente che i nuovi raggi si propagavano in linea retta senza subire né riflessione né rifrazione, e che ionizzavano i gas.

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*.

- 62 -

una riga monoscoronata emessa dalla fenditura. La sua lunghezza sarà evidentemente  $2h + d$ , essendo  $d$  la lunghezza della fenditura. Se invece che su una piastra si facesse avvenire la riflessione sopra una lastra di vetro curvato in guisa da formare in I l'immagine di  $F$  la lunghezza della riga fotografata sarebbe invece  $d$ . Le intensità  $I$  ed  $I'$  delle due righe saranno evidentemente nel rapporto inverso delle loro lunghezze. Essere saranno dunque nel rapporto

$$\frac{I'}{I} = \frac{d}{2h + d}$$

Se si ha p. e.  $I = 1 \text{ cm}^2$ ,  $d = 4$ , sarà  $I' = 9$ ; l'intensità lì verrà cioè in questo caso quasi decuplicata.

§ 3. Desso ora a descrivere il modo col qual mi è riuscito di ottenere queste immagini.

Mi occorreva così tutta una sorgente di raggi X tubi per la p. che potesse funzionare a lungo e senza interruzioni. D'urto dei raggi sotto regimi abbastanza energici. La realizzai mediante due tubi della forma e dimensioni rappresentate press' a poco

← →  
an. 40

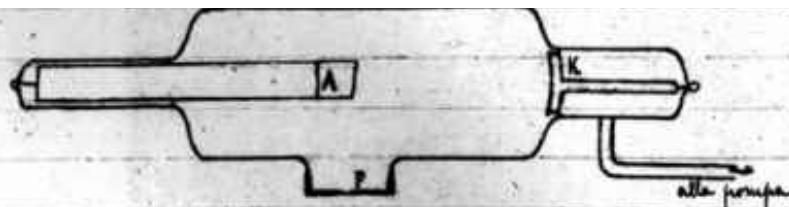
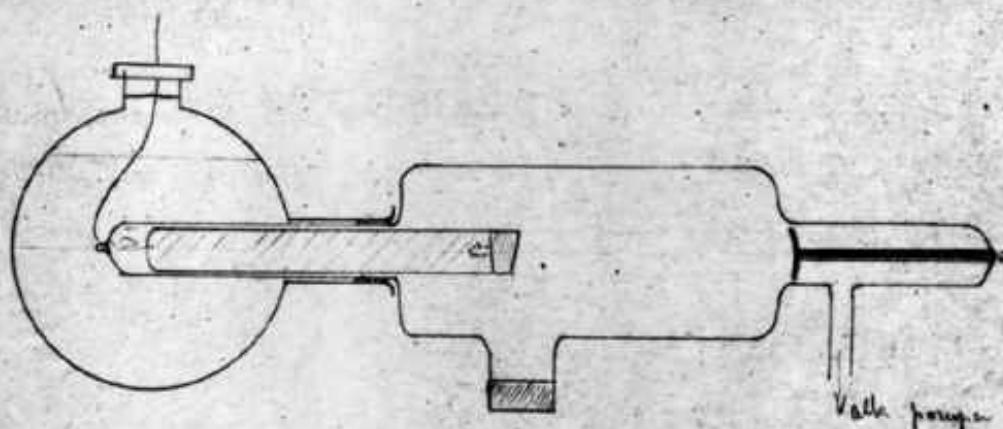


fig. 14.

nella fig. 14. Il catodo K in alluminio era concavo, di raggio di 8 o 10 cm. quando si desiderava concentrare il più possibile i raggi catodici sopra l'anticatodo A. Desiderando invece che i raggi catodici colpissero tutta la superficie dell'anticatodo il raggio dell'anticatodo veniva

attaccato alla pompa. Ci servivano di una pompa rotativa e successivamente una pompa di laccaia, avviata con una pompa rotativa ordinaria di Gaede. L'azione delle due pompe è rappresentata alla Tab.

Per questo gruppo vennero tentati di lavorare con tubi commerciali attaccati a questo gruppo di pompe ottenemmo buoni risultati: che sono tubi appositamente costruiti che ora andiamo a descrivere:

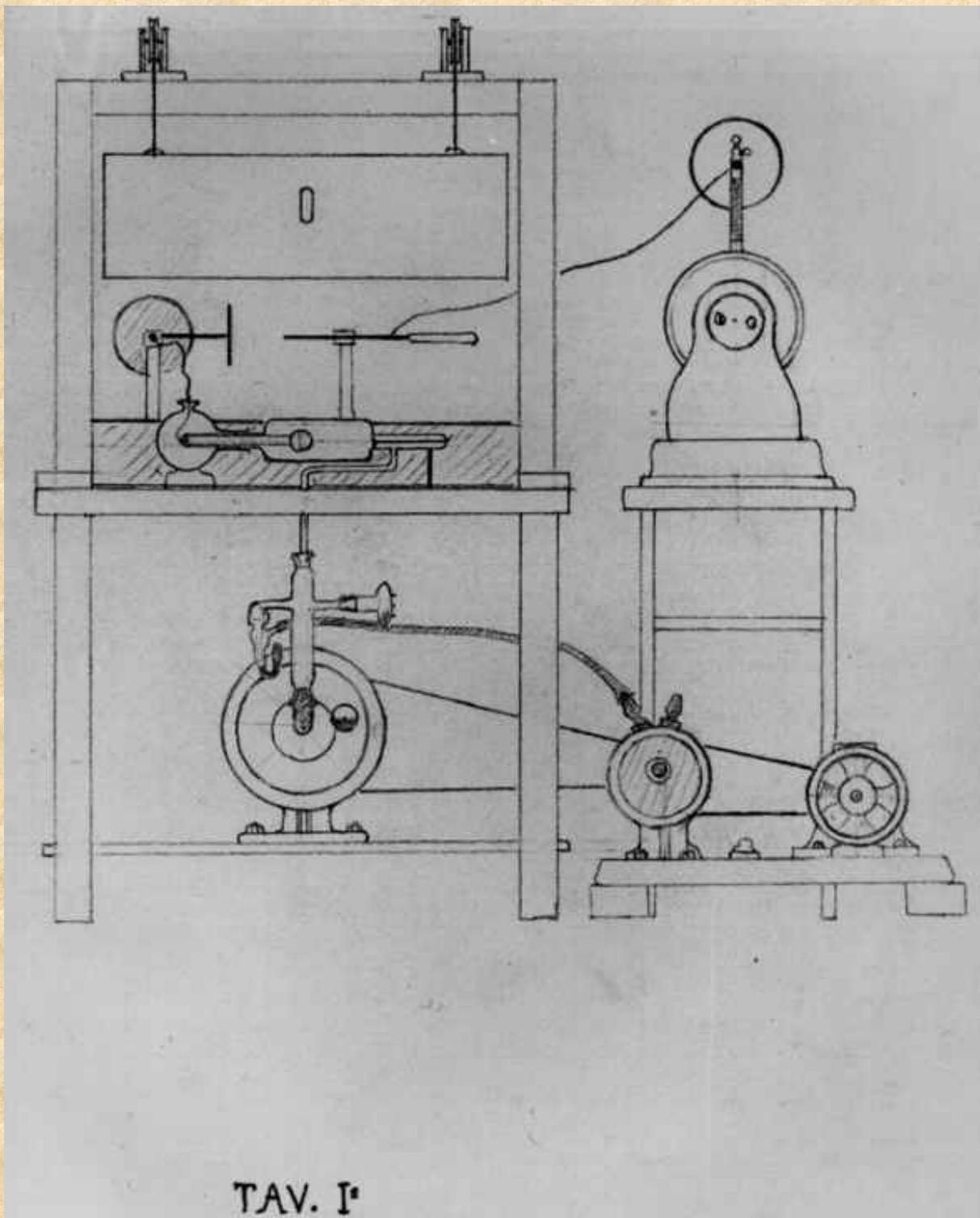


La forma è quella rappresentata dal disegno.

L'anticatodo era un porotto di ferro, la cui estremità delle parti del catodo, era levigata a becco di flauto, - con la faccia quasi perpendicolare alla direzione delle correnti dei raggi catodici - in modo che essa fosse veduta dalle parti degli strumenti, come un ellisse stretta. Una, così da poter avere essa stessa riguardata come una fenditura. Questo artificio, senza nessuna perdita di rittensità, permette di avere una fenditura attorniata lungo l'orizzontale da una sottile frattamente linea.

L'anticatodo era sostituito da una barretta di alluminio.

L'antistato era sostituito da una banchetta di alluminio.  
Successe a seguire freddo l'antistato si avvantava perciò, fu  
necessario - provvedere ad un raffreddamento. Però rimangeva  
sul l'estremità del tubo contenente l'antistato in una



TAV. I

Non è possibile analizzare in questo contesto i contenuti della tesi, di cui erano noti solo il primo e il quarto capitolo<sup>22</sup>. 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

voluta 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*.

ai dati interessanti per lo studio di qualche minore  
Questo metodo è poi degli interessanti risultati nella metallografia.  
Si osserva in generale che i metalli cruschi  
danno luogo a fenomeni di diffrazione assai più inten-  
sivi e numerosi di quelli ricotti, rivelando l'esistenza  
di particelle cristalline assai più grosse e numerose  
dei metalli ricotti.

Metallografia  
Rontgen.

### Capitolo II

#### Sulla teoria dell'influenza dell'agitazione termica sopra la diffrazione dei raggi Rontgen nei cristalli.

g.1. Per effetto della temperatura gli atomi di un re-  
ticolato cristallino non occupano le posizioni di riposo  
che avrebbero allo zero assoluto. Ciò produce una certa  
irregolarità che lo rende meno adatto a diffondere  
i raggi X. L'influenza di questo fatto fu calcolata da  
P. Debye.<sup>10</sup> Nella sua teoria però il Debye, come rileva  
anche Landau nel suo articolo "Wellenoptik", nel I volume  
della "Encyclopädie der Mathematischen Wissenschaften",  
non tiene conto dell'influenza dei muti atomici fra  
di loro, considerando gli atomi come attratti verso le  
loro posizioni medie da forze quasi elastiche, e comples-  
amente incerte; in altre parole nella sua teoria  
dell'effetto dell'agitazione termica sopra la diffrazione  
dei raggi X Debye adotta la stessa rappresentazione dei  
muti atomici che condusse Einstein<sup>11</sup> alla sua formula  
per il calore specifico dei corpi solidi. C'è però d'altra  
parte che Debye<sup>12</sup> stesso ha ideato anche una teoria dei  
Teoria di  
Debye dell'infl.  
ura termica  
sulla diffrazio-  
rappresentazione  
dei muti termi-  
ni in essa  
usata.

<sup>10</sup> Debye - Verh. d. d. Phys. Ges. 15, pp. 639, 738, 854; 1913.

<sup>11</sup> Einstein - Ann. d. Phys. 22, p. 180; 1907.

<sup>12</sup> Debye - Ann. d. Phys. 39, p. 489; 1912.

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 lavoro<sup>23</sup> 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*.

Sulla teoria dell'influenza della temperatura sopra la diffrazione dei raggi Rontgen nei cristalli.

Per influenza della temperatura gli atomi di un reticolato cristallino non occupano le posizioni di riposo, che corrispondono allo zero assoluto, ciò produce una certa irregolarità nel reticolato, risultato che lo rende meno apto a diffondere i raggi X. L'influenza di questo fu calcolata da Debye<sup>10</sup>. Nella sua teoria però il Debye non considera l'influenza dei movimenti atomici fra di loro, considerando gli atomi come attratti da forze quasi elastiche verso le loro posizioni di equilibrio e soggetti ad ogni influenza degli atomi circostanti. Nel precedente lavoro si tiene conto di tale influenza, e si trovano risultati che, per la temperatura ordinaria e temperature superiori coincidono con quelli di Debye, mentre se differiscono alquanto per temperature molto basse.

Debye stesso  
ha però osser-  
vato data  
una forza  
che non ha  
nessi che per  
mette di estrar-  
verare questi  
fattori

La teoria dei movimenti termici dei corpi solidi è, come è noto, postulata per due stati successivi. Nel primo, dovuto ad Einstein<sup>(1)</sup> il movimento di ogni atomo è considerato indipendente da quello degli altri atomi circostanti, ogni atomo si pensa capace di vibrare con frequenza  $\nu$ , la stessa per tutti gli atomi della stessa specie, atorno alla sua posizione di equilibrio. Di ogni atomo viene poi attribuita, conformemente alla teoria dei quanti, l'energia media  $\frac{h\nu}{2\pi}$ . Questa teoria, come è noto, si mostra insufficiente a spiegare quantitativamente il comportamento dei calori specifici a alte temperature, e di qui si è cercato di appoggiare le considerazioni di Debye sopra l'influenza termica sulla diffrazione di raggi Röntgen.

La teoria dei movimenti termici dei corpi solidi fu successivamente perfezionata per opera dello stesso Debye<sup>3</sup>, che ottenne in tal modo risultati soddisfacentissimi nel campo dei colori specifici. È appunto sopra tale teoria dei movimenti termici che vogliamo far fare per studiare l'influenza sopra la diffrazione, se ricorremo però per somma cari i metri di cui dovremo servirsi.

Consideriamo un corpo di volume  $V$  isolato; Dibye dimostra che tale corpo è capace di movimenti elastici di frequenze diverse e che il numero di tali frequenze proprie, comprese fra  $\nu$  e  $\nu + d\nu$  è  $v \left( \frac{8\pi}{V^2} + \frac{4\pi}{V^2} \right) \nu^2 d\nu$ , essendo  $V_1$  e  $V_2$  le velocità di propagazione delle onde elastiche trasversali e longitudinali. Si hanno

<sup>2</sup> Schy.-Verh. S. S. Phys. Ges. 15, pp. 675-738, 1913.

Am. J. Phys. 43, p. 44, 1914  
4. Einstein - Am. J. Phys. 22, p. 120, 1904.  
5. Gelbke - Am. J. Phys. 22, p. 789, 1904.

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* e ugualmente porta nel margine basso della prima pagina la stessa duplice citazione. Dunque Fermi conosceva almeno l'esistenza del

lavoro di Debye.

-1-

Un perfezionamento della teoria di Debye della influenza dell'agitazione termica sopra la diffrazione dei raggi Röntgen nei cristalli

di Enrico Fermi

§1. Per influenza dell'agitazione termica gli atomi di un reticolato cristallino non occupano le posizioni di riposo che avrebbero allo zero assoluto. Ciò produce nel reticolato una certa irregolarità che lo rende menoatto a diffangere i raggi X. L'influenza di questo fatto fu calcolata da Debye.<sup>(1)</sup> Nella sua teoria però Debye, come rileva anche Lame<sup>(2)</sup>, non tiene conto dell'influenza dei muti atomici tra di loro, considerando gli atomi attratti da forze quanticistiche verso i loro centri di quiete, e i loro muti come completamente incoscienti. Debye<sup>(3)</sup> stesso d'altra parte ha dato una teoria dei muti termici dei corpi solidi che permette di tener conto del legame tra atomo e atomo e conseguentemente dell'influenza del moto di un atomo sopra quello degli atomi circostanti. In questo lavoro mi sono proposto di tener conto, nella teoria della diffrazione dei raggi Röntgen, di queste azioni interatomiche, per vedere se la loro influenza non porta in qualche caso aver qualche importanza.

Il risultato sarà che, nella quasi totalità dei casi l'effetto è nullo; si potrebbe forse notarlo in evidenza soltanto operando con lunghezze d'onda estremamente brevi che risentano fortemente l'agitazione termica anche quando le escursioni atomiche siano molto piccole; ed in questo caso si dovrebbe aver una rapida diminuzione del potere risolutorio con la lunghezza d'onda.

(1) Debye - Verh. D. S. Phys. Ges. 15, pp. 648, 938, 959, 1913. Ann. S. Phys. 43, p. 49, 1914.

(2) Lame - "Wellenoptik", Enc. der Math. Wiss. Vol. 5, p. 474, 1915.

(3) Debye - Ann. S. Phys. 39, p. 789, 1912.

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 lavori<sup>24</sup>, 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 '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 professoriale: esprimeva stupore, o noia, o sonnolenza o meraviglia."*

---

**(1)** Gli scritti giovanili di Fermi, che saranno raccolti in un volume di prossima pubblicazione, comprendono testi fino alla laurea (1922).

**(2)** L. FERMI, Atoms in the Family, My Life With Enrico Fermi, Chicago 1954, tr. it. Atomi in famiglia, Milano 1954.

**(3)** Era nato a Volterra il 10 luglio 1877, dove aveva studiato in un liceo privato. Sostenne presso il Regio Liceo di Pisa l'esame di licenza liceale. A Pisa s'iscrisse al primo anno della "Facoltà di Matematiche pure" e nel 1899 ottenne la Licenza in Scienze Fisiche e Matematiche. Proseguì gli studi a Torino ottenendo dopo tre anni il diploma di ingegnere. Nel 1914 divenne ispettore-capo delle ferrovie. La figlia Margherita, benché assai giovane (era nata nel 1908) ricorda le passeggiate con Fermi di mattina presto verso una pasticceria di Ponte Milvio. Lei li seguiva in bicicletta mentre il padre e il giovane Enrico discutevano di matematica e di fisica.

**(4)** E. SEGRÈ, Enrico Fermi, Fisico, Bologna, 1987.

**(5)** O.D.CHWOLSON, *Traité de Physique*, Librairie Scientifique Hermann, Paris seconda ed. 1908-1913. L'opera, composta di 4 tomi in più fascicoli ha complessivamente 4.350 pagine.

**(6)** Giulio muore nel dicembre del 1915.

**(7)** Persico era stato compagno di scuola di Giulio, ma i due fratelli tendevano a stare per conto loro ed egli aveva avvicinato Enrico solo dopo la morte di Giulio (SEGRÈ, op.cit.).

**(8)** In una lettera del 27 agosto 1951, scritta a Laura Fermi dalla zia Olga, sorella della madre di Enrico, conservata nel Fondo Fermi alla biblioteca dell'Università di Chicago, si legge: "Quando era forse in primo Ginnasio durante una mia gita a Roma Enrico era con me e colla sua mamma in via Nazionale per una passeggiata quando incontrammo uno dei suoi insegnanti di scuola; mia sorella mi presentò a questo signore il quale stringendomi la mano mi disse: "mi congratulo con lei che ha un nipote che sarà a suo tempo un secondo Galileo". Ricordo pure che certi colleghi del papà di Enrico stavano discutendo per la soluzione di un problema di algebra e si accaloravano perché non ci riuscivano; mio cognato, dopo averli ascoltati a lungo, pregò uno di loro di dargli una copia del problema dicendo che l'avrebbe portato a suo figlio che forse avrebbe trovato la soluzione; i colleghi lo accontentarono mostrando palesemente che non avevano molta fiducia che un ragazzino così giovane fosse capace di tanto. La mattina dopo Enrico consegnò al suo babbo l'esatta soluzione del problema ed i colleghi rimasero quasi increduli che proprio quel giovanissimo ragazzino riuscisse così facilmente a superarli tutti".

**(9)** Ho lasciato nei testi le sottolineature del professore e ho messo tra parentesi le correzioni che erano in margine.

**(10)** All'elaborazione dei dati ha collaborato Simona Cigarini.

**(11)** In questo quaderno troviamo anche alcuni errori, abbastanza comuni per un romano: più volte scrive "accellerazione" ( alle pp. 9, 27, 28), a p. 1 appare due volte "coefficente", qua e là mancano accenti e vi sono parole ripetute. La calligrafia cambia spesso dando l'impressione di essere uno zibaldone, riempito in tempi diversi.

**(12)** Vorrei ricordare quanto scrisse l'ing Amidei a proposito di questo trattato: ... quando mi restituì il Calcolo infinitesimale del Dini ed io gli dissi che poteva trattenerlo anche per qualche anno per consultarlo in caso di bisogno, ricevetti questa sorprendente risposta: "Grazie non mi occorre perché sono certo di ricordarmelo. Anzi dopo trascorso qualche anno vedrò anche più chiaramente i concetti in esso contenuti e se avrò bisogno di servirmi di qualche formula saprò presto ritrovarla".

**(13)** Intervista di T.S.Khun a E.Persico e F.Rasetti, a Roma, 8 aprile 1963.

**(14)** Da una lettera a Persico: "Roma, 18 agosto 1918 [...] La lettura dello Chwolson procede rapidamente e prevedo che fra tre o quattro giorni sarà finita; è uno studio che sono molto contento di aver fatto perché ha approfondito molto le cognizioni di fisica che già avevo e mi ha insegnato molte cose di cui non avevo nemmeno un'idea. Con queste basi credo che potrò concorrere a Pisa con una certa probabilità di riuscita".

**(15)** M.C.SASSI e F.SEASTIANI, La formazione scientifica di Enrico Fermi, Giornale di Fisica, 40 (1999) 89-113.

**(16)** All'esame di ammissione del 1918 partecipa anche Luigi Fantappié, che risulta secondo e vince quindi un posto in Normale. Anche lui per discutere la differente altezza dei suoni prende ad esempio una verga di metallo, che immagina ben stretta in una morsa: piegato un poco l'estremo e poi lasciato, esso comincerà ad oscillare ecc. ecc. Ma Fantappié (che farà il matematico) non scrive alcuna equazione, per spiegare le oscillazioni della verga passa a studiare in via analogica il moto pendolare e così si attorciglia intorno a considerazioni superficiali. Non è un confronto ad armi pari, e per essere giusti, se si vuole un confronto tra di loro, questo va fatto nei quesiti di matematica.

**(17)** S.D.POISSON, *Traité de Mécanique, Livre sixième, Hydrodynamique, chap. II*, pp. 421-429.

**(18)** *Nuovo Cimento* 22 (1921) 199-207.

**(19)** Si veda la nota 15.

**(20)** F.CORDELLA e F.SEBASTIANI, Il debutto di Enrico Fermi come fisico teorico: i primi lavori sulla relatività (1921-1923), Quaderno di Storia della Fisica, 5 (1999) 69-87.

**(21)** Filippo Eredia (1877-1948), che fu professore di Fermi al liceo Umberto I (Segré) e poi uno dei tre componenti la commissione con cui fece gli orali a Roma per l'ammissione alla Scuola Normale Superiore, compare spesso nella corrispondenza Fermi-Persico.

**(22)** I due capitoli furono pubblicati, con minimi cambiamenti, come due note nel Nuovo Cimento (NC): I raggi Röntgen in N.C. 24, pp. 133-163 (1922) e Formazione di immagini coi raggi Röntgen in N.C.25, pp. 63-68 (1923). La tesi fu ritrovata da me nel 1990 ed entrerà nel citato volume che è in preparazione.

**(23)** P.DEBYE, Interferenz von Röntgenstrahlen und Wärmebewegung, Annalen der Physik, 43 (1914) 49-95.

**(24)** Daremo notizia di questo lavoro inedito di Fermi nell'annunciato volume degli scritti giovanili.

---

## **Enrico Fermi: la personalità del genio**

di Roberto Vergara Caffarelli

*([articolo](#) pubblicato sulla rivista Athenet dell'Università di Pisa)*



*Ricorre quest'anno il centenario della nascita di Enrico Fermi. La figura del "Prometeo moderno", l'uomo che per primo riuscì a controllare il fuoco nucleare, è stata celebrata in ogni angolo del mondo. A Pisa, dove Fermi conseguì la laurea nel 1921, si sono tenuti due importanti convegni ed è stata allestita una mostra biografica ricca di*

documenti inediti. Il prof. Vergara

*Caffarelli, curatore della mostra e appassionato studioso di Fermi, ci offre un interessante ritratto del grande fisico italiano, basato sulle numerose testimonianze di chi ebbe il privilegio di conoscerlo.*

"I suoi capolavori sono, cronologicamente, la statistica, la teoria dei raggi beta, e il lavoro sui neutroni iniziato a Roma e culminante nella liberazione dell'energia nucleare. [...] L'influenza di Fermi sulla fisica italiana è stata profonda e duratura [...] La sua influenza in America, per quanto grande, fu meno unica. Non si può paragonare Fermi a giganti come Maxwell o Einstein, che sono in una classe a sé e il paragone con i fisici più recenti è assai difficile dal nostro punto di vista prossimo. Pensando al passato più remoto il nome di Lord Kelvin mi torna insistente alla mente. Kelvin era un grande sia della teoria che dell'esperimento (anche se non un sommo come Maxwell) che influenzò profondamente i suoi contemporanei. Chi sa che tra un secolo Fermi non possa apparire nella stessa luce in cui appare oggi Lord Kelvin? In ogni caso Fermi dette alla scienza tutto se stesso e con lui sparì l'ultimo individuo dei nostri tempi che abbia raggiunto le più alte vette sia della teoria sia dell'esperienza e abbia così dominato tutta la fisica".

Emilio Segrè, suo allievo e amico, chiude la sua biografia Enrico Fermi fisico con questa valutazione in cui è palese l'intento di essere obiettivo.

Che avesse dominato tutta la fisica, lo sostengono anche quelli che non lo conobbero di persona, come Lev Landau, che nel 1930 aveva detto: "Io sono uno dei pochi fisici universali". Questa affermazione, dopo la morte di Enrico Fermi, divenne "Io sono l'ultimo dei fisici universali". Hans Bethe nel 1955 ricordò così Fermi ai membri della American Physical Society: "Era unico tra i grandi fisici del ventesimo secolo perché era uno dei più grandi in fisica sperimentale ed insieme uno dei più grandi fisici teorici. Era unico anche per l'ampiezza dei suoi contributi. È stato uno degli ultimi fisici che hanno conosciuto quasi tutto della fisica e lo hanno usato nelle proprie ricerche. Se passiamo in rassegna i lavori di Fermi passiamo in rassegna la storia della fisica degli ultimi trenta anni. Ovunque veniva aperta una nuova e importante frontiera della fisica, là era Fermi a indicare il cammino e a mostrarcici come andare avanti. [...] Molti di voi probabilmente, come me, hanno appreso per la prima volta la teoria dei campi dal bell'articolo di Fermi nella Review of Modern Physics del 1932. In un campo difficile è un esempio di semplicità, che penso rimane insuperato".

Nella stessa occasione Walter H. Zinn concluse il suo intervento così: "Il suo lavoro nell'energia atomica mostra con chiarezza l'enorme potere posseduto da un ricercatore che è abile sia nella teoria sia nell'esperimento. Come tale Fermi era supremo. Noi non possiamo aspettarci di vederne uno uguale per molto, molto tempo".

Bethe chiuse quel simposio commemorativo in onore di Fermi in questa maniera: "La principale qualità di Fermi era la sua semplicità, la semplicità della sua persona e la semplicità del suo approccio ai problemi della fisica. La sua abilità stava nel prendere un problema complicato, scomporlo nelle sue parti, risolverlo, e dopo averlo scomposto, trovare la soluzione per le parti e trovarla in maniera elegante.

Molte volte, parecchi di noi hanno avuto problemi per i quali eravamo troppo stupidi per risolverli e andavamo da Fermi per un consiglio. Era sempre pronto a darlo. Gli dicevamo il nostro problema ed egli, dopo averlo ascoltato con attenzione, ci esponeva il nostro problema in una forma completamente diversa. O ci dava la soluzione o, più spesso, aveva reso così chiaro il problema che per noi era possibile risolverlo e nello stesso tempo avere il piacere di farlo da soli. Non c'è un altro fisico come Fermi. La sua vita è stata ricca. La

sua opera vivrà e così il suo spirito, ma noi abbiamo perduto per sempre Enrico Fermi".

Enrico Persico, che gli fu amico fin dal ginnasio, da quando Fermi aveva 14 anni, ricorda: "Questa ammirabile abilità didattica è evidente in tutte le pubblicazioni di Fermi. Il lettore è spesso ingannato dall'apparente semplicità del ragionamento di Fermi e solo quando abbandona la sua guida e tenta di andare avanti da solo, si accorge di essere stato abilmente condotto per mano attraverso una densa, buia foresta. [...]



Fin dalla sua adolescenza Fermi ebbe una ben definita visione positivista del mondo, benché dubito che egli avrebbe accettato questa od ogni altra etichetta per la sua filosofia. Non era cresciuto in un ambiente religioso e così non era dovuto passare attraverso una crisi religiosa, come capita a tanti italiani quando raggiungono l'età dell'autonomia intellettuale. È un fatto che non lo interessavano molto le discussioni filosofiche, e sembra che lo abbia lasciato

abbastanza indifferente anche lo sviluppo della filosofia scientifica che si ebbe durante gli anni della sua maturità, con l'attività del Circolo di Vienna e di altri gruppi. [...]

Dai suoi giorni di collegio in poi avversò quel genere di fisica in cui metodi matematici eleganti ed elaborati vengono impiegati per problemi di poco interesse scientifico o pratico; oppure calcoli lunghi ed accurati vengono condotti per problemi che non richiedono un tale alto grado di accuratezza. Considerava la matematica come uno strumento per descrivere e comprendere i fenomeni naturali ed era eccezionalmente abile nell'applicarla, ma era irritato da quelli che si servono di problemi fisici triviali come un pretesto per mostrare la loro abilità matematica.

Un'altra avversione di Fermi - aggiunge Persico - era per le teorie troppo astratte o troppo formalistiche, non espressa così fortemente, ma evidente attraverso il suo lavoro scientifico. [...] Nel lavoro sperimentale Fermi aveva il suo proprio stile personale. La sua abilità sperimentale non consisteva nel saper costruire apparecchiature complicate o eseguire misure di alta precisione. Consisteva piuttosto nel saper riconoscere, al momento opportuno, quale era l'esperimento più importante da fare, progettarlo nella maniera più semplice e più efficace e realizzarlo con energia e pazienza, senza perdite di tempo e fatica non necessaria. Il suo lavoro sperimentale era sempre connesso con il suo lavoro teorico, e portava avanti entrambi con metodo e calma, con grande perseveranza e una eccezionale resistenza alla fatica mentale e fisica".

"Se dovessi condensare in un solo tratto la fisionomia mentale, pur così complessa, di Enrico Fermi, direi che la sua caratteristica principale era una prodigiosa capacità di vedere subito l'essenziale in ogni cosa, e di puntare direttamente su di esso coi mezzi più semplici".

"Di gusti estremamente semplici, amava la vita tranquilla di famiglia e considerava il denaro soltanto come mezzo per procurarsi le comodità essenziali e la tranquillità necessaria ai suoi studi; ogni manifestazione di lusso era per lui una inutile complicazione della vita. Amava moltissimo l'esercizio fisico; il tennis, lo sci, le gite in montagna, e godeva di queste cose, anche adulto, con giovanile abbandono".

"In una gita che facemmo, noi due soli, [nel 1954] nell'isola d'Elba, ritrovai in lui una sua

vecchia abitudine, che credo pochi conobbero, e che forse stupirà chi lo ha conosciuto solo superficialmente. Spesso nei momenti di distensione, camminando o sostando in vista di un bel paesaggio, l'ho udito recitare, come tra sé, lunghi brani di poesia classica, di cui fin dalla giovinezza custodiva nella memoria un ricco tesoro. Temperamento poco incline alla musica, la poesia gli teneva luogo di canto".

Questa insensibilità alla musica ha sempre sorpreso, forse per l'associazione che l'immaginario collettivo fa della musica con la matematica, personificata da Einstein che suona il violino. Mario Salvadori, per molti anni professore alla Columbia University, che incontrò Fermi per la prima volta nel 1927 e continuò a vederlo spesso anche in America, indica tre caratteristiche di Fermi che lo condussero al trionfo. Primo, la sua straordinaria intelligenza, secondo, la sua insaziabile curiosità, terzo, l'esclusività dei suoi interessi: "la fisica era il suo solo, grande amore e non aveva tempo per quasi nient'altro. I suoi bisogni estetici erano minimi: qualunque mobile lo soddisfaceva purché avesse le gambe dritte e, quando i suoi amici lo accusarono di mancanza di interesse per la musica, Fermi li tacitò con un esperimento. Comprò i dischi della quinta sinfonia di Beethoven diretta da Toscanini e l'ascoltò religiosamente dalla prima all'ultima battuta. Non avendone ricavato il benché minimo piacere, l'ascoltò attentamente per la seconda volta con identico risultato. Ritenne così di aver dimostrato che non si trattava di mancanza di interesse ma di una sua naturale incapacità a capire la musica e, liberatosi dell'accusa, non ci perse più tempo".

È notevole trovare che i giudizi di chi lo conobbe coincidono nelle linee generali: Fermi appariva a tutti allo stesso modo, era l'opposto di un personaggio pirandelliano. Per esempio, Bruno Pontecorvo ha lasciato queste riflessioni: "Vorrei fare alcune osservazioni personali in merito all'atteggiamento che Fermi aveva nei confronti della vita. Egli amava la fisica e inoltre, soprattutto dopo il soggiorno a Leida [nel 1924] aveva sentito che la missione di ricercatore e di educatore gli era congeniale. Rispetto a questo amore e a questa missione tutto il resto era per lui di secondaria importanza. A volte consciamente, ma più spesso inconsciamente, il suo atteggiamento nei confronti della carriera scientifica, dello sport, del riposo, della famiglia, della letteratura, dell'arte e addirittura della politica veniva determinato dal tentativo di avere le migliori condizioni di lavoro. Direi che nella vita di Fermi avveniva tutto come se strani 'ormoni' gestissero i suoi sentimenti e il suo sistema di vita, al fine di garantirgli automaticamente condizioni ottimali per la ricerca scientifica.

Egli era un genio e la sua genialità era legata in misura significativa al suo amore per la semplicità scientifica; al di fuori della fisica era una persona assolutamente normale, quasi banale. Aveva gusti ed esigenze semplici, odiava le complicazioni (come nella fisica!), era assolutamente privo di snobismo e di ipocrisia; estremamente sincero, non nascondeva mai quegli aspetti del suo carattere che a molti sarebbero potuti sembrare dei difetti (per esempio, la sua mancanza di amore per la musica, il totale rifiuto del rischio, l'indifferenza per le questioni politiche e filosofiche, una certa cautela nello spendere; a questo proposito bisogna dire che i soldi a Fermi servivano per poter realizzare il suo lavoro scientifico con tranquillità, non per condurre una vita lussuosa)". [...]

Pontecorvo spiega bene alcuni condizionamenti di Fermi: "Negli anni Venti, quando i principi fondamentali della fisica subirono una radicale trasformazione, Fermi, che non aveva né insegnanti né maestri, ebbe grosse difficoltà di orientamento. Era naturale che in

tali condizioni di particolare isolamento scientifico, Fermi tendesse alla soluzione di problemi concreti, in quanto poteva valutare l'importanza del proprio lavoro soltanto attraverso i risultati di carattere non troppo astratto, ovvero verificabili mediante esperimenti. Questa aspirazione alla concretezza in ogni cosa, alla semplificazione, all'estrapolazione della cosa più importante è, forse, la caratteristica più tipica di Fermi. Quasi tutti i suoi lavori si distinguono proprio per la mancanza di astrattezza. Le sue teorie, quasi senza eccezione, sono nate per spiegare, per esempio, l'andamento di una curva sperimentale, la peculiarità di un risultato empirico ecc. Non è da escludersi che le caratteristiche di Fermi - la concretezza, l'odio per la mancanza di chiarezza, il pensiero eccezionalmente lucido - pur aiutandolo nella elaborazione di molte fondamentali, parallelamente gli abbia impedito di arrivare a teorie e principi quali la meccanica quantistica, la relazione di indeterminazione e il principio di Pauli".

I discorsi letti nelle commemorazioni di un personaggio tendono alle volte ad essere encomiastici, ma credo che quanto disse a Varenna Isidor Rabi il 6 agosto 1955 concordi con quanto hanno detto molti, anche se corregge in parte la valutazione di Segré: "Fermi era straordinario non solo per la potenza del suo genio, la sua grande immaginazione e il suo intelletto, il suo tremendo vigore e pazienza, la sua chiarezza e oggettività. Era eccezionale che in un'età di stretta specializzazione egli fosse un generalista. Non era solo un fisico teorico o un fisico sperimentale, un fisico nucleare o un fisico dello stato solido, un fisico puro o un fisico applicato. Forse più di ogni altro suo contemporaneo egli era un fisico e nessun ramo della materia, dalla termodinamica alla relatività, gli era estraneo ed egli contribuì in maniera importante in quasi tutti i campi. Anche come sperimentale coprì l'intero campo, dalla spettroscopia ai raggi cosmici. Per trovare una figura analoga nella storia della scienza si deve andare indietro alle origini della fisica, ad Archimede, e a Galileo, Isaac Newton e Heinrich Hertz. Per questa ragione credo che vi saranno generazioni prima che uno uguale a lui venga a nascere".

Nel 1992, in occasione del cinquantesimo anniversario del primo reattore, Valentine Telegdi ha detto ai Lincei: "Nessun singolo individuo in questo secolo ha contribuito tanto alla fisica, nella teoria così come nell'esperimento, come ha fatto Fermi. Tuttavia, nell'opinione di chi parla, nel periodo di Chicago il suo più grande contributo sta nel suo insegnamento. Nei suoi studenti e nel loro insegnamento è ancora oggi vivo lo spirito di Fermi". Telegdi fornisce l'elenco di coloro che hanno fatto il PhD con lui a Chicago: di essi ben quattro hanno avuto il premio Nobel, e a loro occorre aggiungere Segré e Gell-Mann!

Edoardo Amaldi ha lasciato una precisa ricostruzione di come Fermi operava: "Giunto a Roma nel 1926, valendosi dell'appoggio di Corbino e dell'aiuto di Franco Rasetti, che lo aveva seguito da Firenze, Enrico Fermi si era accinto a creare una scuola. Aveva raccolto un piccolo numero di giovani appassionati della fisica e dei nuovi orizzonti che essa stava schiudendo e si dedicava alla loro formazione. Ciò avveniva in parte attraverso le lezioni di fisica teorica e, per qualche anno, di fisica terrestre, che egli impartiva con assiduità e semplicità esemplari presentando tutti gli argomenti nelle loro linee essenziali, spogli di ogni sovrastruttura non necessaria; ma in parte anche con un metodo caratteristico e personale consistente nel riunire attorno al suo scrittoio, generalmente verso la fine dei lunghi pomeriggi trascorsi nell'istituto, o nei laboratori, alcuni dei suoi collaboratori ed allievi e nel mettersi a discutere cercando di risolvere, per così dire, in pubblico, un problema ancora non risolto suggeritogli da una domanda di uno degli ascoltatori o proposto da lui stesso in connessione con qualche argomento su cui era caduta la sua attenzione. Le trattazioni che egli sviluppava con questo metodo, venivano scritte direttamente su un quaderno con ben poche cancellature, già pronte per la pubblicazione

purché venissero aggiunti i commenti e le critiche che egli diceva ma non scriveva per non rallentare il regolare, calmo e continuo procedere del ragionamento.

La nuova formulazione della teoria di Dirac nacque proprio in questo modo. In una di queste riunioni qualcuno degli ascoltatori chiese a Fermi che spiegasse la teoria di Dirac di recentissima pubblicazione. Enrico Fermi, rivolgendosi a noi sperimentatori con un suo tipico sorriso lievemente ironico e al tempo stesso benevolo e bonario, osservò che se egli avesse presentato questa bellissima teoria nella forma adottata da Dirac noi non la avremmo capita; poteva però provare lui a farcela capire. E così cominciò a spiegare e dopo una dozzina di riunioni sul suo tavolo c'era uno spesso quaderno che conteneva tutta la trattazione generale e le applicazioni della teoria. Questo quaderno, completato dei commenti, apparve qualche anno dopo nella "Review of Modern Physics" e fu il soggetto di corsi di lezioni che egli svolse all'Institut Poincaré a Parigi e all'Università di Ann Arbor, Michigan nel 1930." Franco Rasetti nel 1968 rievoca quel periodo così: "Si tenevano riunioni che si potrebbero chiamare seminari, ma senza alcun orario od altro schema prestabilito, su argomenti suggeriti sul momento da una domanda che uno di noi faceva a Fermi, o da qualche risultato sperimentale che avevamo ottenuto e che si trattava di interpretare, o infine da un problema che Fermi stava studiando e che aveva risolto o cercava di risolvere. In qualsiasi caso, Fermi procedeva a spiegare dei calcoli che scriveva alla lavagna, col suo passo non troppo rapido ma costante, non accelerando nei passaggi facili e neppure rallentando sensibilmente davanti a difficoltà che avrebbero a lungo arrestato chi non possedesse la sua impareggiabile tecnica e l'intuito che gli faceva intravedere i risultati prima ancora di averli dimostrati. Spesso non ci accorgevamo al momento se Fermi stesse esponendo teorie a lui o ad altri ben note, o se stessimo assistendo ad un nuovo passo che egli faceva ai confini tra il conosciuto e lo sconosciuto. Abbiamo così veduto più volte nascere una nuova teoria, che Fermi sviluppava, per così dire, pensando ad alta voce."



È noto che nel periodo dell'adolescenza, tra i tredici e i diciassette anni, egli ha letto in maniera ordinata e sistematica testi universitari di matematica e di fisica. Quali sono state le conseguenze della precocità scientifica di Fermi? Che abbia guadagnato quattro anni è cosa ovvia e, tutto sommato, di poco conto. Quanto è stato importante sul versante fisiologico, visto che il cervello in quel periodo è in una fase di plasticità e formazione ancora notevole? Quanto è stato importante sull'aspetto psicologico, sulla formazione del carattere e sui rapporti con il mondo esterno, certamente un effetto a cascata sulla sua storia personale? Si deve forse alla sua precocità di autodidatta se è riuscito a spazzare via l'arretratezza culturale della fisica italiana, che tuttavia condizionerà in maniera definitiva il suo atteggiamento nella ricerca? Concludo con Bruno Pontecorvo: "Enrico è diventato il grande Fermi proprio perché i suoi interessi si sono rivelati e le sue esigenze intellettuali sono state soddisfatte quando egli era ancora un ragazzino".

---

[Torna alla pagina principale](#)

