

Luca Malagoli

**ENRICO FERMI
COME INSEGNANTE E DIVULGATORE**

L'ampiezza e la profondità dell'opera fanno di Enrico Fermi uno degli scienziati più importanti e prolifici di tutta la fisica contemporanea, al punto che un tentativo di analizzare la sua carriera scientifica fornirebbe argomenti sufficienti per un numero elevato di studi.

Parallelamente al lavoro di fisico teorico e sperimentale Enrico Fermi fu uno dei rari esempi di geni della fisica in grado di coniugare indiscusse capacità d'astrazione teorica ad altrettanto elevate abilità di sperimentatore. Durante tutto il corso della sua purtroppo non abbastanza lunga, ma certamente prolifica, carriera accademica portò avanti con forza la passione per l'insegnamento evidenziata già nei primi anni universitari, negli scambi epistolari con Enrico Persico e nelle conferenze che presiedeva per divulgare le nuove teorie della fisica del XX secolo.

Essendo stato, l'insegnamento, una costante di tutta la vita, per comprendere a fondo la portata dell'innovativo lavoro nel campo scientifico è necessario evidenziare le caratteristiche didattiche fondamentali della sua opera, impostando un lavoro su due piani paralleli, allo scopo di riuscire a valutare qualitativamente le linee guida del pensiero di Fermi. Avendo egli pubblicato sia per la scuola superiore che per l'università, i due piani di lavoro coincidono con l'analisi di due testi scientifici per le scuole superiori scritti nel decennio 1929-38, e con lo studio di altri due testi universitari fra loro molto differenti nello stile e nello scopo per cui furono scritti. Oltre a libri di testo per Istituti di vario livello, l'opera di Fermi è completata sia da un numero molto elevato (diverse centinaia) di pubblicazioni scientifiche avvenute su riviste specializzate, che da diverse voci pubblicate dall'Enciclopedia Italiana Treccani, nel decennio 1920-30.

Il motivo della scelta di mettere in luce le caratteristiche didattico-divulgative dell'opera di Fermi trova la sua origine nell'insostituibile ruolo che la figura del fisico romano ricoprì nell'ambito del rilancio della fisica italiana e statunitense, con le due scuole che dal suo insegnamento hanno tratto origine. Non può, infatti, essere posto in secondo piano il fatto che le basi per il ritorno dell'ambiente fisico italiano ai primi posti sia nella ricerca teorica sia sperimentale negli anni bui del dopo Volta furono poste proprio all'Istituto di Via Panisperna, con la collaborazione di molti fisici, oltre che del Senatore Corbino, ma sotto la forza aggregatrice che il nome e la figura del fisico romano hanno avuto.

Il caso della fisica d'oltreoceano è sensibilmente diverso, sia perché l'ambiente di lavoro non era così arretrato come in Italia negli anni '20, sia per le particolari condizioni che il periodo bellico imponeva. Infatti, anche se la Scuola di Fermi negli Stati Uniti può essere datata posteriormente rispetto alla II Guerra Mondiale, la fama del personaggio era fortemente legata ai suoi successi nel campo del nucleare (reazione a catena controllata, bomba atomica).

Naturalmente per comprendere appieno le origine della passione di Enrico Fermi per l'insegnamento è opportuno valutare preventivamente alcuni aspetti della sua formazione culturale e umana, ponendo particolare attenzione sia alle persone che hanno avuto un ruolo di primo piano nella sua carriera scolastica, sia al corso di studi seguito.

Il primo aspetto da evidenziare riguarda la formazione culturale, allo scopo di cercare le origini del suo modo di affrontare i problemi scientifici che gli si ponevano innanzi. A causa del particolare periodo storico in cui si formò, gli studi istituzionali nella scuola secondaria, sia inferiore che superiore, non risposero

mai alle aspettative particolarmente alte che l'ingegno del giovane Enrico richiedeva, obbligandolo a riporre tutte le sue speranze di conoscenza nello studio come autodidatta. Naturalmente le difficoltà insite nello studio autogestito sono più elevate rispetto al caso dello studio indirizzato da persone competenti, non possedendo, a causa dell'inesperienza dello studente, l'organicità di programma e di contenuti necessari ad indirizzare lo sforzo in modo costruttivo.

Risulta quindi chiaro l'importante ruolo svolto dall'ingegnere Amidei nell'indirizzamento degli studi di Enrico Fermi nel periodo corrispondente alla frequentazione della scuola superiore. Infatti Amidei svolse un'opera di selezione e di programmazione degli studi individuando i testi su cui prepararsi e la sequenza di letture da svolgere. Allo scopo è stato possibile una deduzione dei testi affrontati da Fermi con l'indicazione dell'anno in cui sono stati studiati, come riportato di seguito.

1. Elementorum Physicae Mathematicae volumen Primum et Secundum (1840). Trovato in una bancarella a Campo dei Fiori durante una passeggiata con Persico. Conteneva un corso di scienza a livello universitario.
2. Teodoro Reye, La geometria di posizione. Testo sulla geometria proiettiva prestato da Amidei a Fermi (nel 1913).
3. J.A.Serrett, Trattato di Trigonometria Piana (nel 1914).
4. Ernesto Cesaro, Corso di analisi algebrica con introduzione al calcolo infinitesimale (nel 1915).
5. Bianchi, Dispense di geometria analitica compilate per l'Università di Pisa (nel 1915).
6. Ulisse Dini, Lezioni (erano per il corso di analisi integrale e infinitesimale) scritte all'università di Pisa (nel 1916).
7. S.D.Poisson, Traité de Mécanique (nel 1917).
8. Nel 1918 studiò anche l'Ausdehnungslehre (lezioni, approfondimenti) di Calcolo geometrico secondo H. Grossmann, preceduto dalle operazioni di logica deduttiva di Peano (fratelli Bona Editori, Torino, 1888).
9. Alcune materie di Ingegneria su testi prestati da Amidei.
10. Appell, Meccanica (nel 1919).
11. Planck, Termodinamica (nel 1919).
12. Richardson, Electron Theory of Matter (nel 1919).
13. Rutherford, Radioactive substances and Their Radiations (nel 1919)
14. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien.

Dall'analisi dell'elenco di testi si può notare come Fermi abbia approfondito lo studio di tutte le materie necessarie ad avere una buona preparazione in fisica e in analisi, non affrontando, al contrario, lo studio degli aspetti storici e filosofici connessi alla scienza fisica; l'indicazione risulterà molto importante per capire una delle ragioni che possono aver formato l'ormai famoso pragmatismo di Fermi.

L'altra figura fondamentale nella vita di Enrico Fermi, più per la carriera che per la formazione culturale, fu Orso Mario Corbino, che seguì e protesse lo svolgersi dell'ascesa che portò il giovane fisico al vertice della sperimentazione nella fisica in Italia. Il culmine dell'ascesa di Fermi si manifestò in vari modi, a

Luca Malagoli Enrico Fermi come insegnante e divulgatore

seconda del campo di interesse. Troviamo, così, l'assegnazione del premio Nobel nel 1938 per i suoi lavori sul bombardamento delle varie sostanze chimiche con neutroni lenti, momento che rappresenta la massima espressione del lavoro di fisico teorico e sperimentale, nella prima parte della sua vita (indicando con prima parte il periodo antecedente l'espatrio negli Stati Uniti avvenuto dopo la consegna del Nobel); il culmine della sua carriera dal punto di vista didattico, argomento che rappresenta uno degli aspetti cercati con il presente lavoro, lo si ha con la creazione delle Scuole di Fisica che dal suo insegnamento hanno tratto origine, sia in Italia (prima parte della sua vita) che negli Stati Uniti, dopo l'emigrazione. La realizzazione delle scuole di fisica fu accompagnata e favorita dalla pubblicazione di libri di testo che fecero da supporto all'espansione delle idee di Fermi, e furono un altro degli strumenti utilizzati per ridare fiato allo studio della fisica, particolarmente nel caso italiano, a causa dello stato comatoso in cui versava. Oltre alla redazione di testi di studio l'opera divulgativa di Fermi fu completata con la collaborazione con l'Istituto Enciclopedico Treccani. Il rapporto di collaborazione tra il giovane fisico e l'Istituto Treccani continuò per diversi anni, e vide il contributo dell'ormai famoso redattore toccare vari ambiti dell'insegnamento della scienza. Infatti, oltre a contributi di carattere tecnico per voci fondamentali della nuova fisica, come il concetto di atomo e di elettrone, Enrico Fermi si occupò di formulare anche molte biografie di scienziati più o meno noti, andando dal quasi sconosciuto Stefano degli Angeli, professore di matematica del XVII secolo, al notissimo e fondamentale fisico danese Niels Bohr. Nella tabella 1 è fornito uno specchio completo di tutte le voci a cui Fermi ha contribuito, se non totalmente, almeno in parte:

Vol.-Pag.	SOGGETTO	Vol.-Pag.	SOGGETTO
I-27	Abbe, Ernst	V-252	Atomo-grammo
I-115	Abraham, Max	V-314	Attrito
I-205	Accelerazione	V-320	Atwood, George
I-568	Aepinus, Ulrich Theodor	V-654	Avogadro, Amedeo
II-280	Aldini, Giovanni	VI-185	Baria
II-292	Alembert, Jean Baptiste Le Rond d': Principio di D'Alambert	VI-192	Barkla, Charles Glover
II-371	Alfa, particelle	VI-245	Bartholin. Parte relativa a Rasmus
II-479	Algoritmo	VI-471	Becquerel, Alexandre- Edmond
II-743	Amagat, Emilie Hilaire	VI-471	Becquerel, Antoine-César
III-37	Ampere	VI-471	Becquerel, Henri
III-86	Analitica, geometria	VII-97	Bisettrice
III-228	Anelli di Newton	VII-281	Bohr, Niels Henrik David

ATTI DEL XVIII CONGRESSO DI STORIA DELLA FISICA E DELL'ASTRONOMIA

III-292	Angeli, Stefano degli	VII-351	Bolometro
III-344	Angström, Anders Jones	VII-668	Bragg, William Henry e William Laurence
III-378	Anisotropia	VIII-166	Bussola: bussola giroscopica
III-411	Anodo	IX-106	Carnot, Sadi-Nicolas-Léonard: parte biografica. Il ciclo e la macchina di Carnot
III-646	Apertura	XI-13	Compton, Arthur Holly
IV-51	Archimede, Principio di	XI-750	Coulomb, Charles Augustin de
IV-147	Area, principio delle	XIII-750	Elettrone
IV-176	Argand, Francois Pierre Aimè	XIII-753	Elettroottica
IV-985	Asse, parte introduttiva, Assi galileiani o inerziali, Asse della ruota	XX-173	Kerr, John: effetto Kerr
V-82	Aston, Francis William	XXXII-518	Statistica, meccanica
V-234	Atomico, calore	A1-187	Atomo (Vol. V, pag.235)
V-234	Atomico, numero	A1-191	Ausonio
V-243	Atomo: teoria elettrica dell'atomo		

tabella 1

Avendo inquadrato la formazione di Fermi e avendone individuato le caratteristiche principali si può procedere allo studio dei libri di testo selezionati per trarre informazioni sul metodo didattico utilizzato. Il lavoro svolto è costituito da un'analisi trasversale per cercare le caratteristiche principali che accomunano i quattro testi selezionati che, unite alle informazioni già trovate relative alla formazione culturale di Enrico Fermi, permetteranno di raggiungere il risultato voluto.

I primi due testi analizzati furono scritti da Fermi nel periodo statunitense per alcuni corsi universitari di cui era docente. Trattano argomenti diversi, furono scritti in anni diversi, ma, più di tutto, presentano caratteristiche differenti, anzi, in alcuni casi, diametralmente opposte, che permettono di raccogliere molte informazioni utili sul tipo di lavoro svolto da Fermi all'interno delle lezioni. I primi due testi sono i seguenti:

NOTES ON QUANTUM MECHANICS

The University of Chicago Press, Chicago, 1961.

A course given by Enrico Fermi at the University of Chicago.

ATTI DEL XVIII CONGRESSO DI STORIA DELLA FISICA E DELL'ASTRONOMIA

N U C L E A R P H Y S I C S

The University of Chicago Press, Chicago, 1949.

A course given by Enrico Fermi at the University of Chicago. Notes compiled by Jay Orear, A.H. Rosenfeld, R.A. Schluter.

Il motivo della scelta dei due testi rispetto ad altri risiede nel fatto che sono stati scritti per due momenti differenti della lezione. Infatti, mentre le Notes sono solo appunti scritti da Fermi in preparazione alla lezione, il testo Nuclear Physics è il risultato della raccolta di appunti scritti alle lezioni del corso di fisica nucleare tenuto da Fermi all'Università di Chicago nel 1949 da parte di tre studenti (Orear, Rosenfeld, Schluter). Anche a livello visivo le differenze sono evidenti, dato che le Notes riportano la riproduzione dei manoscritti di Fermi senza alcun tipo di intervento di carattere tipografico, mentre Nuclear Physics ha la forma di un testo vero e proprio, preparato, scritto e stampato.

Per arrivare a comprenderne appieno le caratteristiche principali vengono analizzati entrambi. Le Notes rispondono al programma scritto per il corso di meccanica quantistica tenuto nei primi mesi del 1954 all'Università di Chicago. L'idea di renderli pubblici è nata dopo la morte del professore, allo scopo di metterli a disposizione del maggior numero possibile di studenti, anche in considerazione del ruolo molto importante che l'insegnamento ha sempre avuto nella vita di Fermi.

La struttura generale delle *Notes* è fondata sul concetto che si tratta di fogli aggiuntivi distribuiti all'interno della classe alla fine di ogni lezione, per cui il loro scopo era di completare, specialmente per la parte analitica, il lavoro svolto in classe. Cominciando la discussione l'obiettivo dichiarato era di capire le idee di Enrico Fermi relative alla formulazione della meccanica quantistica; strada facendo è sorta anche un'altra riflessione: si tratta di un testo dedicato alla formulazione della teoria dei quanti comprendente un'analisi storico-critica, oltre che teorica? Cioè, è un tentativo di spiegare la meccanica quantistica partendo dai principi base e considerando tutte le implicazioni che ne seguono, oppure è un testo che ha come obiettivo ultimo e non dichiarato esplicitamente di arrivare all'esperimento nell'ambito della nuova teoria?

Sintetizzando le caratteristiche del testo emergono tre aspetti fondamentali:

1. Propensione per la teoria ondulatoria
2. Mancanza di qualunque riferimento agli aspetti fondazionali della meccanica quantistica
3. Trattazione di vari argomenti con attinenze sperimentali

La propensione di Enrico Fermi per la meccanica ondulatoria rispetto alla teoria di Heisenberg risulta già evidente in alcuni articoli pubblicati nel periodo

1925-30, quando Fermi si preoccupava di diffondere il verbo della meccanica quantistica anche in Italia¹; anche dalla lettura delle Notes si rilevano evidenze che confermano l'idea sulla preferenza dell'autore di una teoria piuttosto che l'altra.

Il punto due trova conferma in vari paragrafi delle *Notes*; le prime indicazioni si hanno già all'inizio del testo, quando si nota che il corso è stato preparato saltando completamente la vecchia teoria dei quanti formulata da Bohr-Sommerfeld. E' una mancanza significativa perché, pur sapendo che si tratta di una teoria errata a causa del compromesso tra necessità di esplorare nuovi mondi, come nel caso dell'atomo, e il ricorso all'uso di vecchi strumenti d'indagine ereditati dalla meccanica classica, fu proprio la tensione verso la necessità di trovare una spiegazione al mondo microscopico che portò alla formulazione delle nuove teorie quantistiche, che, pur scartando le idee precedenti, da esse trassero spunto.

La seconda indicazione è data dalla totale mancanza di paragrafi dedicati alle conseguenze e all'interpretazione dei risultati della meccanica quantistica, contrariamente a quanto avviene in un numero abbastanza elevato di testi sull'argomento, anche senza andare a scomodare gli elaborati di Dirac o di Heisenberg; inoltre non sono nemmeno presenti dei commenti ai risultati tanto importanti quanto particolari della teoria dei quanti. Il caso più emblematico penso si trovi nel paragrafo 13 delle *Notes*, *Uncertainty Principle*; sono ben note, infatti, le importantissime conseguenze che la relazione di Indeterminazione ebbe sul significato stesso di conoscenza, ma nel testo non sono minimamente accennate. Ancora più interessante sarebbe stato capire che l'impossibilità di eseguire una misura contemporanea di variabili coordinate con una precisione grande a piacere nasce dall'avere a che fare con operatori, che obbediscono a leggi di algebra non commutativa, cioè distinguono se il prodotto tra due operatori p e q è pq o qp . Inoltre, in diversi casi si ottengono risultati che non trovano corrispondenza nella fisica classica, come nel caso dei problemi con sistemi unidimensionali come le buche e le barriere di potenziale. Se a tutto questo aggiungiamo una certa attenzione verso argomenti come lo spin, l'emissione e l'assorbimento di radiazioni, l'effetto Zeeman anomalo, i multipletti atomici, e altri ancora, penso si possa concludere sostenendo la precisa direzione assunta dal corso di Enrico Fermi verso la sperimentazione nella meccanica quantistica, o verso discipline sperimentali che avevano la necessità di utilizzare i risultati della meccanica quantistica stessa.

¹ *Sui principi della teoria dei quanti*, Rendiconto del Seminario Matematico dell'Università di Roma, 8, 7-12 (1925); *I fondamenti sperimentali delle nuove teorie fisiche*, Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze, vol. I, pag. 365-371 (1929); *L'interpretazione del principio di causalità nella meccanica quantistica*, Il Nuovo Cimento, 1930, vol.VII, pag. 361-366; *I fondamenti sperimentali della nuova meccanica atomica*, Periodico di Matematiche, 10, 71-84 (1930).

Un'ultima considerazione. Fermi si è sempre considerato un teorico piuttosto che uno sperimentale (anche se il Nobel lo ricevette per lavori di carattere sperimentale). Ovviamente una sua classificazione come fisico teorico o sperimentale può risultare pretestuosa dato l'assoluto valore del fisico romano in entrambe le discipline; però, se si confronta un qualunque suo studio con altri di fisici teorici suoi contemporanei, come Heisenberg o Dirac, solo per citare due dei padri della teoria dei quanti, penso si possa convenire sul fatto che, per la sua stessa formazione culturale estremamente pragmatica, Enrico Fermi non possa essere considerato un fisico teorico, dato che, per essere tale, le strade da percorrere per approfondire ogni nuova teoria dovrebbero essere molteplici, e certamente più ampie di quelle seguite da Enrico Fermi, particolarmente per una teoria come la meccanica quantistica. Non si vuole, in questo modo, sminuire le capacità di Enrico Fermi, operazione che risulterebbe sterile e certamente destinata al fallimento, ma, anche dallo studio delle *Notes*, l'evidenza che penso emerga con maggior forza è proprio il carattere "sperimentale" della teorizzazione di Enrico Fermi.

Come accennato in precedenza anche *Nuclear Physics* è un testo molto importante per la comprensione del metodo didattico utilizzato da Fermi. Allo scopo di analizzarlo fornisco una schematizzazione dell'indice nella tabella 2.

PROPEDEUTICA		SPECIFICA		COSMOLOGICA	
Cap.I	Properties of nuclei	Cap.VI	Nuclear forces	Cap.X	Cosmic rays
Cap.II	Interaction of ...	Cap.VII	Mesons		
Cap.III	Alpha emission	Cap.VII I	Nuclear reactions		
Cap.IV	Beta-decay	Cap.IX	Neutrons		
Cap.V	Gamma-decay				

tabella 2

Analizzando *Nuclear Physics* ci si trova davanti ad un testo senza dubbio molto originale, sia per la capacità di approfondire senza appesantire tipica di Enrico Fermi (che, in fondo, è da considerare il vero autore del testo), sia per il modo in cui è stato concepito. Infatti ad un testo nel senso più classico del termine, cioè prodotto di uno studio atto a pianificare e ordinare in modo logico le conoscenze dell'autore, è stato sostituito un elaborato che possiede già un vissuto, corrispondente al momento della spiegazione orale. Il metodo classico di procedere nell'insegnamento prevede la spiegazione in classe dell'argomento, che trova supporto in un eventuale approfondimento basato su libri di testo che, possiamo dire, hanno un ruolo leggermente secondario. Il metodo seguito nell'ottenimento di *Nuclear Physics* conferisce al testo stesso una centralità basata sulla natura esperienziale da cui esso deriva. Cioè, il testo di Enrico Fermi non è un semplice supporto alla teoria esposta in classe, ma è la teoria stessa riportata in forma scritta.

Risulta ormai chiara la differenza con le *Notes*: esse non sono frutto di un lavoro in classe in quanto lo precedono, ovvero esse sono lo spunto per la lezione, il prima, e non piuttosto la lezione stessa, come accade per *Nuclear Physics*.

Il carattere che accomuna i due lavori è da ricercare nell'estrema precisione della spiegazione, accompagnata da uno spazio considerevole lasciato all'intuizione, senza che questa diventi motivo di pesantezza. La capacità di rendere concetti anche molto difficili senza farli sembrare tali ritengo sia una delle peculiarità dell'interpretazione didattica di Fermi, resa ancora più evidente dalla innata capacità di alleggerire la trattazione teorica con continui richiami all'esperimento.

E' altresì evidente la vastità e la profondità del programma di Fermi, la prima riscontrabile nell'elevato numero di argomenti che l'indice del testo riporta, la seconda nella presenza costante di riferimenti ad altri libri di testo e articoli. Come conseguenza si ha che lo scopo del testo di fisica nucleare non è di avviare gli studenti universitari allo studio delle proprietà del nucleo, non essendo un testo di avviamento alla materia; il fine ultimo del lavoro in discussione ritengo rientri nella caratteristica tipica dell'insegnamento universitario di Fermi: creare degli allievi. Non a caso un così alto livello di conoscenza è messo a disposizione di *graduate students*, e non di novelli universitari, rientrando, anche un simile atteggiamento, nel tentativo, consapevole o inconsapevole, di creare una scuola di fisica nucleare negli Stati Uniti, tanto che molti degli studenti di Fermi legheranno il loro nome alle scoperte base degli ultimi quarant'anni, vincendo in alcuni casi anche il Premio Nobel.

Il primo testo di fisica per le scuole superiori scritto da Enrico Fermi venne pubblicato nel novembre del 1929 dalla casa editrice Zanichelli di Bologna con il titolo *Fisica a uso dei Licei*, e riporta come autore Enrico Fermi dell'Accademia d'Italia; all'epoca della pubblicazione del libro Fermi era professore di fisica teorica all'Università di Roma, membro dell'Accademia d'Italia e redattore dell'Enciclopedia Italiana. Probabilmente venne spinto a scrivere un libro di testo sia per la necessità di arrivare ad una posizione economicamente più stabile (tutti gli incarichi sopra riportati erano stati da poco conseguiti), sia per l'importanza che Enrico Fermi ha sempre dato all'insegnamento sia, infine, per la necessità, anche da lui sentita, di creare una nuova leva di fisici italiani da avviare alla ricerca scientifica.

L'indice del primo volume è diviso in quattro sezioni (*Introduzione*, *Meccanica*, *Acustica* e *Calore*), ognuna a sua volta divisa in capitoli, a loro volta suddivisi in paragrafi. A questa divisione ci sono solo due eccezioni rappresentate dal " sottocapitolo " *Equilibrio delle macchine*, che riporta solo delle applicazioni della statica alle macchine, e dal capitolo *Meccanica dei fluidi* diviso, a sua volta, in tre capitoli: *Idrostatica*, *Aerodinamica* e *Moto dei liquidi e dei gas*.

Esplicitate le caratteristiche principali del testo che risultano dall'analisi dell'indice, si può passare ad uno studio più dettagliato, al fine di rendere evidente la validità dell'opera di Enrico Fermi.

L'analisi del testo ha lo scopo di mettere in evidenza i temi principali che caratterizzano il lavoro di Fermi, temi che attraversano tutto il testo, indipendentemente dalle suddivisioni in capitoli e paragrafi. I temi trattati saranno:

- la semplicità matematica
- le applicazioni concrete
- le unità di misura
- la didattica
- la storia della fisica
- il confronto con altri testi dell'epoca

Ho selezionato questi argomenti sia perché li ritengo caratteristici di ogni libro di fisica, sia perché, a volte positivamente, a volte negativamente, emergono anche dal testo in esame. La lettura che ne dà Enrico Fermi è, come vedremo, in parte secondo la tradizione e in parte innovativa. Secondo la tradizione perché ogni testo di fisica per le scuole superiori deve servirsi di apparati matematici semplici, in parte innovativa perché il taglio che Enrico Fermi riesce a dare ad alcune parti del suo lavoro, specialmente quelle riguardanti la verifica sperimentale, è unico; infatti in diverse pagine si respira quello spirito scientifico che penso abbia caratterizzato la vita di Fermi, a partire dai semplici esperimenti del periodo giovanile, per arrivare alle più alte vette della sperimentazione, quello spirito che invita ad analizzare i fenomeni nella loro completezza, a teorizzarli e a falsificarli, cioè quello spirito che insegna un metodo scientifico di analisi della natura.

Volendo rendere il più possibile completa e veritiera l'analisi del testo di Fermi lo si è confrontato con uno analogo suo contemporaneo. Tra i possibili si è scelto il testo di Federico Rosario². Complessivamente si può dire che il Federico è certamente un testo più completo e dettagliato, a differenza del Fermi, maggiormente qualitativo e immediato, per cui, pur trattando entrambi gli stessi argomenti (tranne per alcune differenze che non alterano il giudizio complessivo del confronto), si ha l'impressione che le finalità perseguite siano diverse. Il Federico è più portato verso uno studio classico della materia, mentre il Fermi è certamente più innovativo e stimolante.

Dove risiedono le novità del testo di Enrico Fermi? La particolarità non risiede tanto nell'elevato numero di casi concreti riportati, quanto nella capacità di saper suggerire molte applicazioni semplici che possono essere facilmente ripetute, e nel mettere in condizione lo studente di sentirsi stimolato verso la verifica della teoria. Le evidenti scelte di Fermi per un insegnamento immediato e diretto si concretizzano anche in uno studio più qualitativo che quantitativo della fisica, dato che il ricorso alla matematica è ridotto all'essenziale, e,

² Federico Rosario, *Fisica per le scuole medie superiori*, 3 Voll., Lattes, Torino, 1931.

dell'intero arco degli argomenti che formano la fisica, sono stati trattati solo i principali. Certamente è una scelta che può essere criticata, perché in alcuni casi (specialmente per la meccanica) ha generato poca chiarezza nei contenuti. A livello generale, invece, le critiche riguardano la mancanza sia della teoria degli errori, che di esercizi per lo studente. Alcune delle lacune possono trovare giustificazione in due considerazioni. La prima, e più semplice, è da ricercarsi in una scelta, in parte consapevole e in parte frutto di superficialità, di non voler appesantire eccessivamente il lavoro sia dell'autore che degli studenti; la seconda può ritrovarsi nella consapevolezza di Fermi del livello presumibilmente non molto elevato di preparazione degli insegnanti che avrebbero dovuto utilizzare il testo. Infatti, oltre al fatto che nella maggior parte dei casi non erano fisici, non va dimenticato che un insegnante degli anni '30 aveva completato i suoi studi o nel cambio di secolo, oppure nel primo decennio del nuovo secolo; comunque sempre in anticipo, o al massimo insieme, alle grandi rivoluzioni della nuova fisica. Era quindi possibile che una buona parte di loro non fosse a conoscenza, se non in minima parte, degli sviluppi più recenti, e avesse, comunque, una formazione culturale risalente agli ultimi decenni del XIX secolo.

Avendo quindi analizzato i vari aspetti del testo, se ne può formulare un giudizio complessivo più che positivo. Infatti il lavoro si segnala principalmente per il metodo di ricerca che trasmette, caratteristica, per certi versi, più importante del rigore scientifico. Quindi, anche se sono state trascurate l'analisi degli errori, la storia della fisica, la fisica moderna, ..., lo studio del libro lascia in eredità il metodo per poter affrontare un qualunque tipo di ricerca scientifica, avendo insegnato a teorizzare, verificare e falsificare le ipotesi formulate.

Il secondo testo per le superiori analizzato è *Fisica per le scuole medie superiori*³; vista la continuità dell'autore e il breve periodo trascorso rispetto al testo per i Licei, si può ipotizzare un sostanziale equilibrio tra i due testi. Infatti anche dall'analisi del lavoro svolto in collaborazione con Persico, andando oltre alcune migliorie riguardanti le lacune evidenziate in precedenza, si trova la conferma di quanto è emerso dall'analisi precedente.

In conclusione si può definire il percorso seguito un cammino trasversale, avendo interessato tutta la vita scientifica di Enrico Fermi, anziché un suo aspetto specifico. Infatti gli argomenti trattati vanno dalle prime apparizioni pubbliche di Fermi scienziato, basti ricordare alcuni degli articoli divulgativi utilizzati per comprendere la sua visione della meccanica quantistica, oltre alle voci scritte per l'Enciclopedia Italiana, passando attraverso la sua opera di rifondazione della Scuola di Fisica in Italia, avvenuta anche tramite l'edizione di libri di testo innovativi per le scuole secondarie superiori, per arrivare alla sua maturità scientifica esplicitata nei testi universitari del periodo americano. E' un cammino trasversale anche perché comprende due periodi della vita del nostro connazionale nettamente distinti, che hanno sicuramente rappresentato una

³ E. Fermi, E. Persico, *Fisica per le Scuole Medie Superiori*, Zanichelli, Bologna, 1938

svolta anche per lui. Non va sottovalutata, al proposito, l'emigrazione a cui la famiglia Fermi venne costretta in seguito alla promulgazione delle leggi razziali, nell'Italia fascista, precedenti la Guerra; l'emigrazione ha certamente rappresentato una svolta fondamentale nella vita di Enrico Fermi, non solo dal punto di vista umano, per le conseguenze che un simile distacco ha su ogni persona (allontanamento dagli affetti, dai luoghi e dalle abitudini ormai consolidate, l'incontro con un ambiente culturale e con uno stile di vita completamente diversi, ...), ma anche, e soprattutto, e a me è l'aspetto che più interessa, dal punto di vista del Fermi ricercatore, insegnante e divulgatore. Infatti Enrico si è trovato proiettato da un ambiente sostanzialmente provinciale, come ancora era l'Università Italiana nonostante gli innumerevoli sforzi sostenuti, a un Paese e a un luogo di lavoro che per molti aspetti era al centro dell'interesse scientifico mondiale, non fosse altro per la presenza di innumerevoli fisici stranieri di prima grandezza, fuggiti dai regimi totalitari dell'Europa prossima alla Guerra. Inoltre la sua posizione all'interno della struttura universitaria è notevolmente mutata, essendo passato da una posizione di indiscussa leadership come rivestiva a Roma, a un ruolo certamente meno di primo piano come si è trovato a ricoprire, almeno nei primi anni, negli Stati Uniti, per molti e differenti motivi, come la condizione di esule, la presenza di menti altrettanto fini, e, più di tutto, il fatto di essere passato da un centro di ricerca di sua creazione (l'Istituto di Via Panisperna) a uno già esistente (l'ambiente fisico negli Stati Uniti). Quindi l'aver considerato i due periodi della vita di Fermi penso giustifichi l'uso dell'aggettivo trasversale per questo lavoro. Però penso sia chiaro come, essendo l'insegnamento per Fermi più una scelta di vita, un ideale, che una professione al pari delle altre, non possa essere limitato ad un periodo più o meno breve della sua vita, ma debba essere vista, per comprenderla, come un filo conduttore che ne caratterizzò la vita stessa. Diviene perciò necessario capire quali cambiamenti, se ce ne sono stati, ha portato nel rapporto tra Fermi e l'insegnamento, un così profondo cambio di vita.

L'opera sia scientifica che divulgativa del lavoro di scienziato di Fermi ha toccato praticamente tutto l'ambito della fisica, andando dalla fisica classica fino alle più nuove teorie legate alla conoscenza della struttura atomica e delle particelle nucleari. L'aspetto più interessante, almeno rispetto agli argomenti sviluppati nella tesi, riguarda il carattere sperimentale e/o teorico dei suoi studi. E' un aspetto molto importante, non tanto per voler effettuare una divisione tipica tra fisica teorica, e chi la studia, e fisica sperimentale, e chi ne prova le conclusioni, essendo certamente un tentativo sterile, dato il carattere complessivo della fisica stessa, che vede strettamente connessi entrambi gli aspetti, quanto per mettere in luce una particolarità del lavoro di Fermi.

Il contributo del fisico romano alla fisica è stato ampio e molto articolato, ed è costituito da lavori sia di carattere sperimentale molto alto (basti ricordare per tutti il premio Nobel vinto nel 1938 per " [...] le scoperte di nuovi elementi radioattivi " e per " [...] la scoperta del potere selettivo dei neutroni lenti " come recita il discorso del conferimento del Premio), che lavori teorici di primissimo piano (su tutti la teoria del decadimento β , lavoro teorico di incomparabile profondità e difficoltà). E' quindi chiaro come le capacità di Fermi fossero

equamente distribuite tra fisica teorica e sperimentale, ed è proprio la capacità di riassumere in se talenti sperimentali e teorici che rendono unica la figura di Fermi. Infatti, come è risultato dal confronto con gli altri scienziati di primissimo piano del XX secolo, probabilmente Enrico Fermi era inferiore a loro per singole capacità, cioè era secondo a Bohr come fisico teorico, o a Millikan come fisico sperimentale, ma eccelleva nelle sintesi delle capacità di astrazione (teoria) e di concretizzazione (esperimento), unite alle indiscusse capacità di improvvisazione tipiche del popolo mediterraneo. Però, dato che l'argomento della tesi è relativo al suo metodo di insegnamento, penso risulti chiaro dalla lettura della tesi la prevalenza della sperimentazione sulla teoria nei suoi insegnamenti. Infatti, analizzando la sua opera, il filo conduttore è dato dal continuo ricorso all'esperimento, anche se in forme di volta in volta differenti. Non trova infatti altra giustificazione il particolare metodo di insegnamento adottato da Fermi nella realizzazione dei testi per le scuole superiori, che, come risulta dal capitolo III, sono ricchi di continui rimandi alla verifica personale, tanto quanto sono ridotti nell'uso di formule matematiche, portate al minimo indispensabile e sostituite, tutte le volte che ve ne era la possibilità, con la spiegazione del fenomeno fisico interessato. Passando dai testi per le scuole secondarie ai testi universitari, l'impostazione particolare cambia (non è certamente pensabile un testo di fisica nucleare senza apparato matematico), lasciando invariato, nella sostanza, il metodo didattico. Infatti, se per il testo *Quantum Mechanics* la catalogazione è certamente difficile, sfuggendo il testo stesso per la sua struttura di appunti ad uso e consumo del professore ad ogni schematizzazione, altrettanto non avviene per il testo *Nuclear Physics*, chiaramente indirizzato all'applicazione dei concetti studiati, come risulta chiaro sia dall'aver sorvolato su certi aspetti matematici, che dall'insistenza con cui viene chiesto allo studente di esercitarsi nella costruzione ipotetica di macchine acceleratrici.

Non bisogna, però, cadere nell'errore di considerare Fermi lontano dagli sviluppi teorici, dato che già partendo dal periodo di studi pisani è chiaro come le conoscenze matematico-teoriche della fisica gli fossero famigliari, altrimenti non si spiegherebbero i contributi che diede sia alla meccanica quantistica che alla teoria della gravitazione.

La trasposizione della filosofia di Fermi a livello di scuola secondaria superiore e a livello di divulgazione, non può che portare ai testi di fisica per i Licei e alle voci per l'Enciclopedia Italiana. Infatti, così come è risultata originale la figura di Fermi scienziato per quanto sostenuto in precedenza, altrettanto si può dire per *Fisica a uso dei Licei*, e per *Fisica per le scuole medie superiori*, elaborati che ricorrono, ogni qual volta è possibile, alla spiegazione " a parole ", cioè qualitativa, del fenomeno, riducendo al minimo l'apparato matematico, e distinguendosi così da altri libri di testo ed essi contemporanei.

La figura complessiva di Fermi, sia nelle vesti di insegnante che di divulgatore scientifico, penso risulti particolarmente originale, fuori dagli schemi. Ci si trova dinanzi, infatti, ad uno studioso dalle indiscusse capacità analitiche, che ha saputo fondare due scuole di fisica partendo da due situazione tra loro molto differenti, che ha saputo creare, ancora più importante, una scuola di pensiero, cioè ha insegnato un metodo di ricerca e di lavoro che richiede anzitutto

Luca Malagoli Enrico Fermi come insegnante e divulgatore

un alto coinvolgimento personale, sottolineato dal fatto che Fermi ha sempre partecipato direttamente ai progetti di cui si occupava, così come non si è mai rifiutato di tenere le sue ormai famosissime lezioni private, e che punta primariamente sul fenomeno fisico, richiedendo prima di tutto un'analisi qualitativa del processo sotto studio, e solo in un secondo tempo, dopo che lo si è ridotto al massimo, ricerca una determinazione quantitativa del fenomeno studiato.