

## PREFAZIONE

**Enrico Fermi.**

**La sua vita, ed un commento alla sua opera**

GIORGIO SALVINI

Questo libro vuole illustrare in una serie di note scritte da vari protagonisti della ricerca scientifica italiana le scoperte di Enrico Fermi e le loro conseguenze sulle nostre attuali conoscenze in fisica, in chimica, in matematica, in ingegneria, ed in tutti i progressi tecnici che contribuiscono in modo decisivo alla nostra vita civile.

Il libro è diviso sostanzialmente in tre parti. La prima parte (sezioni **1-5** di questa prefazione) è essenzialmente biografica, e presenta ordinatamente la vita di di Enrico Fermi, attraverso tre biografie di fisici che hanno vissuto e lavorato con lui.

La seconda parte più estesa contiene quattordici indipendenti memorie o note di specialisti, che illustrano l'attività e le scoperte di Fermi in uno specifico campo della fisica, e le conseguenze della sua opera sino ai giorni nostri (sezione **6** di questa prefazione).

La terza parte è una cronologia che contiene l'evoluzione dell'opera scientifica di Fermi con scansione annuale.

L'opera di Enrico Fermi è amplissima, per originalità ed ampiezza di interessi. Essa è in buona parte documentata nelle Note e Memorie di Enrico Fermi (nel seguito FNM) curate dalla Accademia Nazionale dei Lincei e dalla University of Chicago Press [1].

Queste si estendono in due volumi di oltre 1000 pagine ciascuno. In essi sono riportati con adeguati commenti dei suoi allievi e collaboratori le note scientifiche scritte da lui, da solo ed in collaborazione.

Questo libro si inserisce nella ampia serie di iniziative nazionali decise per onorare la memoria di Fermi in occasione del Centenario dalla nascita. Egli verrà ricordato in varie sedi, in Italia ed all'estero.

Desidero esprimere la nostra gratitudine al Comitato Nazionale per le Celebrazioni ed al suo Presidente Carlo Bernardini per i Convegni, le mostre e i musei preparati per questa importante occasione.

### 1. – La vita di Fermi, scritta da tre maestri

Nel libro sono riportate, come si è detto, tre commemorazioni di Enrico Fermi: due di Enrico Persico [6] e di Edoardo Amaldi [6], lette a pochi mesi dalla sua scomparsa. Una del 1968, scritta da Franco Rasetti, nelle Celebrazioni Lincee di quell'anno [6]. Rasetti è vivente oggi a Bruxelles, in età di cento anni.

Questi illustri scienziati hanno trascorso molti intensi anni di studio e lavoro con Enrico Fermi, come essi ricordano. Enrico Persico gli fu anche amico e compagno di scuola nella prima giovinezza in Roma. Amaldi e Rasetti parteciparono alle fondamentali ricerche nucleari in Roma. Tutti mantennero con lui un continuo rapporto scientifico, e restano personaggi nobili ed indimenticabili della nostra storia della fisica e dell'insegnamento di essa, con caratteri diversi, e con diversi interessi teorici e sperimentali.

È impressionante, per chi come me ebbe il privilegio di conoscerlo, vedere come da questi tre ricordi emerge la figura di Enrico Fermi in tutta la sua dimensione di scienziato eccelso, capace di fulminee intuizioni, ma anche lavoratore instancabile, sereno, tranquillo, profondamente umano verso i compagni di studio, gli allievi, la famiglia, gli amici.

Le tre memorie qui riportate vanno dunque lette, perché esse aiutano ad inserire nella storia mondiale e nell'insegnamento la persona che è stata Enrico Fermi. Lo ricordano negli anni giovanili, con episodi anche divertenti, ed insieme manifestano verso di lui una fraterna amicizia ed una profonda ammirazione, priva di rivalità od invidia.

Questa immagine lo accompagnerà per sempre, sino alla morte. Egli è insieme un gigante del pensiero, ma è anche uno di noi, un essere umano che sa soffrire e impegnarsi, che cerca e lavora in laboratorio ed a tavolino, che vuole insegnare bene e si prepara accuratamente a questo, che mette il suo raccolto a disposizione di tutti.

Voglio comunque osservare, a proposito della evoluzione italiana, che la linea scientifica di Enrico Fermi, dalla statistica all'intelligenza degli atomi più complessi, allo sviluppo rigoglioso della teoria dei solidi, alla sistemazione dell'elettrodinamica, alla folgorante teoria della disintegrazione beta, ha aperto una corrente di pensiero che ha tenuto l'Italia in primissima linea teorica e sperimentale per i decenni successivi. Basti ricordare, nel campo delle particelle interessanti per le interazioni deboli, la scoperta famosa di Conversi, Pancini, Piccioni [2] sulle proprietà fondamentali della famiglia dei leptoni, interpretata nella sua inattesa profondità ed estensione da Fermi e collaboratori (vedi articolo di Jacob e Maiani), lo storico chiarimento sulla teoria dei campi portato dall'angolo di Cabibbo, la scoperta di Rubbia e collaboratori dei bosoni intermedi, l'apertura di nuovi laboratori in Italia per le ricerche sulla fisica degli stati aggregati (ai quali Fermi fu attentissimo, dalla sua tesi in Pisa, e per tutta la sua vita).

Come osserva Ettore Fiorini nella sua prefazione alla storia di Enrico Fermi scritta da Pontecorvo [3], "Raramente nella storia del nostro Paese, e non solo in quella della

scienza, si è avuto un fenomeno così importante e nello stesso tempo così singolare e duraturo come la nascita e lo sviluppo della scuola di Fisica creata da Enrico Fermi.”

## 2. – Le note scritte da vari autori italiani contemporanei

Tredici delle note nel libro che qui si presenta sono state scritte da fisici italiani oggi operanti in fisica in quei campi che egli ha aperto, e che hanno avuto ampio sviluppo nel secolo testé trascorso. Si è aggiunta, per aiutare l'inquadramento storico, una memoria di Levi-Civita scritta in occasione del Congresso di Como del 1927: un grande matematico che si interessò subito al lavoro di Fermi. Ognuno di questi autori ha già lasciato l'impronta di suoi personali risultati nella storia della nostra scienza. Ma è di grande aiuto alla nostra intelligenza della storia il vedere nei testi come i loro risultati attuali discendono o si collegano alle aperture di Enrico Fermi negli anni venti, trenta, quaranta, cinquanta del secolo appena trascorso. Proveremo, in questa prefazione, a scorrerli uno per uno. Essi verranno specificamente commentati ai paragrafi 6.1-6.13.

## 3. – Un grande insegnante

Questo libro è di generale interesse per ogni cultore di scienza; ma esso è dedicato particolarmente agli insegnanti italiani di fisica e matematica delle scuole secondarie superiori che debbono avviare i giovani allo studio delle scienze fisiche e naturali, e della matematica, nella fascia di età che va dai quindici ai diciotto anni. Certo, non si può prendere lo studente liceale Enrico Fermi, quale esempio per questi allievi: a diciotto anni egli sapeva di fisica e di matematica dei suoi tempi molto di più della media degli studenti che si laureavano allora in fisica dopo quattro anni di Università.

Ma fu ciononostante uno studente tranquillo, riservato, a volte giovanilmente esuberante. Vedo qualcosa di straordinario od unico, in questo genio —pur consapevole di esserlo— che percorse con i suoi compagni gli anni di Università in Pisa.

Adesso mi permetto, sulla base delle tre limpide coerenti biografie qui offerte, che sono un preciso ordinato ancoraggio alla vita ed alla figura del nostro Enrico, di fare alcuni commenti su di lui, non necessariamente ordinati, riportando alcuni giudizi di illustri fisici del nostro mondo scientifico, sulla sua opera e sul suo stile.

Da questa tranquilla folgorante giovinezza egli emerse presto, e inevitabilmente. Molti docenti italiani di matematica e di fisica si accorsero della sua grandezza, e lo guidò soprattutto nel suo primo cammino scientifico il nostro Orso Mario Corbino, assegnandogli una borsa di studio e mandandolo all'estero, verso ambienti più aperti alle nuove idee di quanto non fosse l'ambiente scientifico italiano. Ecco parte della motivazione della borsa (ref. [4], pag. 30), per il ventiduenne Enrico Fermi:

“... Dimostra già, a pochi mesi dalla laurea, una maturità scientifica che gli permette di trattare con sicurezza e con chiaro intuito problemi di fisica matematica e di fisica sperimentale, secondo attestano: le interessanti ricerche sulla dinamica di un sistema rigido di cariche elettriche; la spiegazione del divario fondamentale fra le espressioni della massa elettromagnetica; le note di pura relatività generale riguardanti i fenomeni

in vicinanza di una linea oraria ... In presenza di siffatta poderosa e feconda attività ai primordi della carriera non si può che restare ammirati, e formulare voti perchè col conseguimento del posto di perfezionamento questo concorrente abbia modo di allargare il campo delle sue conoscenze di fisica e di trarre il maggior profitto dagli studi compiuti".

Occorre ricordare che Enrico Fermi è stato un insegnante di fisica limpido e bravo ed ha insegnato anche ai suoi stessi professori sin dagli anni di studente in Pisa.

Da allora e sempre, Enrico Fermi riuscì a tenere una costante unità di azione, vorrei dire una contemporanea presenza tra le varie scienze fisiche, richiamandole l'una all'altra per reciproco chiarimento. Questo egli svolse con la massima semplicità, che faceva amare il tema in discussione, e che arrivava con grande efficacia e rapidità alla parte più centrale e significativa del problema trattato. Questo aspetto costituisce una caratteristica forse unica nella storia del nostro secolo: intendo la capacità di sciogliere i nodi più difficili di un problema fisico, sperimentale o teorico, andando subito al cuore di esso [4].

Questa capacità divenne presto nota nel mondo, e suscitò l'ammirazione di altri grandi scienziati, come tra poco ricorderò. Ma permettetemi prima una meditazione sugli immediati inizi del nostro XX secolo appena trascorso.

#### 4. – Quello straordinario quinquennio 1921-1926

Gli anni 1900-1902 videro la nascita di cinque grandi che hanno gettato le basi delle nuove conoscenze in fisica. In ordine di nascita essi sono: Pauli, Dirac, Heisenberg, Fermi, Jordan.

Tra gli anni 1920 e 1933 questi giovanissimi giganti gettarono le basi delle nostre attuali conoscenze. Il modo come le differenti interpretazioni si alternavano e sembravano contraddirsi, per poi arrivare ad un quadro nuovo originale e vero dell'universo, è qualcosa che affascina e ci rende pensosi sull'avventura umana, anzi sui balzi alti ed inattesi che gli uomini fanno per arrivare alla conoscenza. Sono da ricordare ad esempio le pagine di Abraham Pais [5] che commentano quel periodo, che diverrà noto in Göttingen come gli anni della Knabenphysik, la fisica dei ragazzi.

Enrico Fermi non partecipò direttamente alla prima assoluta fondazione delle nuove idee, ma contribuì enormemente a semplificarle, ed a portarle ad una visione unitaria. Un compito delicato e difficile, che gli era peraltro naturale (si ricordino ad esempio i commenti di Cini nel suo articolo "Fermi e l'elettrodinamica quantistica").

Su questo punto mi soffermo un momento. È stato detto in questo nostro libro, da alcuni autori, che appare strano che Fermi, arrivato a Göttingen nel pieno dei fermenti per la nuova meccanica delle matrici non si sia tuffato nel problema, e non si sia inserito tra i fondatori. Non sono uno storico che cerca le ragioni di una vicenda, quando essa è andata così: può essere che l'inserimento in un gruppo già lanciato che parlava un'altra lingua, non gli sia venuto naturale; può essere che il metodo delle matrici non gli sia parso in sé il più adatto per descrivere con sicurezza i fenomeni atomici allora noti. Forse trovava in esso un arcano preconcio più che un concreto messaggio scientifico. In questo caso egli non aveva colto il potenziale di conoscenza delle matrici. Sappiamo che anche

oggi, e tra gli estensori di queste note, non manca chi preferisce la via ondulatoria alla via delle matrici.

Comunque Fermi fece in quegli anni 1923-1924 cose pregevoli in altri campi. Non mancò tra l'altro di sottolineare le difficoltà quasi insormontabili della quantizzazione di Bohr-Sommerfeld (vedi articoli di Gallavotti, Falcioni e Vulpiani [6]). Ma la sua capacità di entrare nel mondo quantistico nuovo scattò quando ebbe tra le mani i lavori di Schrödinger, nel 1926. Fermi, come Segrè ricorda nella storia della sua vita, rimase strabiliato, si mise al lavoro sulla sua equazione, e portò alla nuova meccanica quantistica, ed alla analisi della compatibilità tra Heisenberg e Schrödinger un contributo semplificatore, secondo le sue ormai riconosciute caratteristiche [4, 7].

Ripensando a quello storico periodo, 1921-1926, mi viene naturale pensare ai grandi fisici che ho detto come a una squadra in cordata, alla conquista di una nuova altissima difficile cima. Era una via nuova da trovare, senza alcuna traccia precedente. Era una impresa che sola poteva conseguirsi con dei geni di diverso carattere, la cui collaborazione nasceva dalla reciproca stima e dalla rapida enorme capacità di critica.

Fermi dunque non fu importante che in un secondo tempo. Ma in quello stesso anno 1926 egli entrò tra i grandi con la sua statistica "Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico" (ref. [1] FNM, 30), la statistica proposta per primo da lui, che prese il nome di Fermi-Dirac. La storia di questo primo internazionale successo è riportata in particolare nelle note qui pubblicate di G. Parisi e di F. Bassani [6].

Fatemi solo dire che ognuno è fatto al suo modo. Non si può rimproverare ad un fisico che ha fatto cose grandi, il fatto che non ne ha fatte altre. Se posso scherzare un momento, dirò che non si può rimproverare a Ludovico Ariosto il fatto che non ha scritto la "Gerusalemme liberata".

## 5. – Alcuni giudizi su Enrico Fermi da parte di altri Maestri della fisica

Riprendo il filo del mio racconto per ricordare, tra i grandi scienziati che riconobbero il genio semplificatore di Enrico Fermi, alcune testimonianze: esse sono esempi o riconoscimenti in situazioni ed epoche diverse.

Nel 1993, in ricordo di Enrico Fermi, Victor Weisskopf [8], uno dei grandi fisici mondiali che più ha contribuito a presentare con chiarezza i risultati scientifici in fisica nucleare ed in elettrodinamica, scrisse:

"Fermi fu unico nel suo modo di far fisica. Egli aveva un modo molto speciale di attaccare i problemi, teorici e sperimentali. Riuscì sempre nel trovare l'approccio più semplice e più diretto, con il minimo di complicazione e di sofisticazione. Nei primi anni del 1930, quando provai invano a capire la nuova elettrodinamica quantistica [si veda l'articolo di M. Cini in questo libro] io ebbi la ventura di trovare su "Review of Modern Physics" (1932) l'articolo di Fermi intitolato 'Quantization of radiation in Coulomb gauge'. Lo studiai, e da allora potei comprendere la teoria dei campi. So di non essere il solo che raggiunse questo risultato ed ha questa opinione."

Un pensiero analogo ritroviamo in un discorso di Bethe su Enrico Fermi, che ricorda le difficoltà della teoria dei campi (ref. [4] pag. 54): "... È un esempio insuperato di

semplicità in una materia difficile. Apparve dopo un gruppo di lavori complicatissimi sull'argomento, e precedette un altro gruppo di lavori sempre complicatissimi. Senza la luminosa semplicità di Fermi io credo che molti di noi non sarebbero stati capaci di approfondire la teoria dei campi. Io sono certamente uno tra questi”.

Chi parla è il grande teorico Hans Bethe, premio Nobel per l'evoluzione stellare e per l'origine dei nuclei pesanti.

Ed ecco un pensiero di C. N. Yang, sull'insegnamento di Enrico Fermi. Esso è riportato nelle note e memorie già ricordate. (FNM pag. 673), in introduzione al classico articolo [vedi nota di Jacob e Maiani [6]] “Are mesons elementary particles?”.

Dice dunque tra l'altro Yang, futuro premio Nobel della fisica con T. D. Lee per la scoperta della non conservazione della parità: “Per ogni argomento Fermi aveva l'abitudine di cominciare sempre dall'inizio, esaminando esempi semplici, ed evitando il più possibile i formalismi (diceva scherzando che il formalismo complicato era riservato ai Grandi Sacerdoti). La semplicità stessa del suo modo di ragionare dava una impressione di assenza di sforzo, ma questa impressione era errata: la semplicità era anche il frutto di una accurata preparazione, e di un ponderato esame delle varie alternative possibili ... Il constatare che Fermi aveva conservato per anni appunti particolareggiati su vari argomenti di fisica fu un insegnamento importante per tutti noi. Imparammo che proprio questa è la fisica: essa va costruita dalle fondamenta, mattone per mattone e strato per strato. Imparammo che le astrazioni vengono dopo l'approfondito lavoro preparatorio” (ref. [4], pag. 172).

Ultima testimonianza è quella di un fisico sperimentale che lavorò con Fermi per quindici anni, dalla costruzione della pila alle ultime ricerche sulle particelle elementari. Ecco come Herbert Anderson ricorda lo stile di Fermi [9]:

“Io fui immensamente (*immensely*) attratto da Enrico Fermi: aveva una presa eccezionale sulla fisica, che egli teneva tra le dita sempre pronta per l'uso. Quando nasceva un problema egli aveva la prontezza di andare alla lavagna, e semplicemente risolverlo. La fisica fluiva limpida dal suo gesso.”

Anderson si riferisce qui al Fermi teorico e sperimentale, che lavorava alla realizzazione del reattore nucleare negli anni quaranta.

## 6. – Alcuni commenti alle quattordici note dei singoli autori

Ma adesso vorrei andare attraverso le belle note di questo libro per una breve presentazione, per aiutare la coerenza da un tema all'altro, per sentire insieme Enrico Fermi come un ispiratore e come uno di noi, e per arrivare ad una conclusione che possa essere di conforto al nostro lavoro.

Nel passare in rapida rassegna le note presentate dai vari autori, inizieremo da tre di esse, che illustrano il definitivo ingresso di Enrico Fermi nell'Olimpo dei grandi fisici, nel 1926-1933. Sono le note di Giorgio Parisi sulla statistica, di Franco Bassani sulla fisica dello stato solido; di Nicola Cabibbo sulle interazioni deboli [6].

**6'1.** *Giorgio Parisi*: “La statistica di Fermi” [6]. – Questa nota inizia con una limpida presentazione dei concetti generali di probabilità e di statistica per le particelle elementari. In alcuni aspetti essa è pronta per una lezione agli studenti dell’ultimo anno di Liceo, per semplicità chiarezza e metodo di esposizione. Successivamente egli sviluppa una sottile analisi critica sulle statistiche di Bose per i fotoni, e sulla interpretazione di Einstein. Quanto alla statistica di Fermi, Parisi riconosce la prontezza e la priorità di Enrico Fermi nella statistica che porta il nome di Fermi-Dirac. Egli applicò immediatamente il Principio di esclusione enunciato da Pauli (un principio, ricorda Parisi, al quale Fermi era arrivato molto vicino) nel suo lavoro sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico (febbraio 1926). Ma Parisi riconosce anche, con una analisi precisa, il contributo chiarificatore di Dirac (agosto 1926), che ritrova la statistica di Fermi, e distingue tra funzioni d’onda simmetriche ed antisimmetriche.

Voglio ricordare qui il pensiero di Franco Rasetti nei suoi commenti in questo lavoro di Fermi su Note e Memorie (FNM), a pag. 178.

“Non appena Fermi lesse l’articolo di Pauli sul principio di esclusione, egli si rese conto di possedere gli elementi per una teoria di un gas ideale che potesse soddisfare il principio di Nernst allo zero assoluto e dare le corrette formule di Sackur-Tetrode per il valore assoluto dell’entropia nel limite di bassa densità e di alta temperatura.” Questo commento piuttosto lungo di Rasetti, riporta anche gli interventi di Fermi alla conferenza di Como.

Permettetemi di sottolineare anche in questa vicenda, come Parisi mette in evidenza, la severa reciproca attenzione critica tra grandi scienziati di qualità diverse, per chiarire finalmente in modo fondamentale e forse per sempre le statistiche delle particelle elementari, e per porre le basi essenziali della nuova meccanica quantistica.

Quegli anni 1926-1930 sono estremamente intensi e fruttuosi per Enrico Fermi. Egli, dice Parisi, “non si interessa direttamente delle applicazioni della sua teoria, sulla quale lavoreranno generazioni di fisici, e rivolge i suoi interessi verso quella che era in quel momento la nuova frontiera della fisica teorica, l’elettrodinamica quantistica, con tutti i problemi connessi all’emissione ed all’assorbimento dei fotoni. E scrive una serie di magistrali lavori ammirati da tutti per l’estrema chiarezza”.

**6'2.** *Marcello Cini* [6]. – Questo ci porta alla nota di Marcello Cini “Fermi e l’elettrodinamica quantistica.” Le prime pagine del suo articolo spiegano la posizione di Fermi a Göttingen, un po’ in ombra rispetto alla rivoluzione in atto ad opera di Heisenberg, Pauli, Jordan. Da questa ombra uscirà poi, con quelle “zampate da leone” che sono, nel 1926-1927, la sua statistica e l’atomo di Thomas-Fermi, per non parlare ancora della sua opera teorica massima “Tentativo di una teoria dell’emissione dei raggi beta”. Ma il lavoro intenso ed enorme di sintesi e chiarimento sulla elettrodinamica quantistica che Cini ci racconta, è quello che ha permesso a Fermi di arrivare con lucidità folgorante alla spiegazione della radioattività beta ed alla apertura di una nuova teoria dei campi.

I successi della meccanica delle matrici, e quindi della meccanica ondulatoria di Schrödinger, suscitarono presto un grande entusiasmo, ma, come Cini ci ricorda, “la situazione era assai differente per quanto riguardava la soluzione dei problemi che

coinvolgevano il campo elettromagnetico, e la sua interazione con le particelle cariche della materia. L'estensione del paradigma quantistico ai sistemi relativistici con infiniti gradi di libertà presentava difficoltà assai maggiori di quelle che si dovevano affrontare per applicare le regole della meccanica quantistica in altri campi" [10].

Il contributo di Fermi sulla elettrodinamica in quegli anni fu dunque di gran beneficio a tutta la comunità scientifica più avanzata, teorici e sperimentali.

Ho già detto il commento di fisici come Weisskopf e Bethe all'opera di Fermi. Marcello Cini sottolinea le difficoltà teoriche e di principio della elettrodinamica dalla sua nascita agli anni settanta, ed è un racconto limpido, che si deve leggere, e che ci porta alla attuale sintesi: la teoria elettrodebole. Insomma, anche da questa nota emerge l'altra grande funzione storica che Fermi ha avuto: di sintesi e di coordinamento tra teorie che sembravano tra loro discordi. Con immenso vantaggio di anticipo nella ricerca e nella storia della scienza.

Nella seconda parte della sua nota (i punti 7, 8, 9) Cini fa alcune osservazioni che "discendono da un esame con l'occhio di uno storico." Sono pagine interessanti e profonde, che potranno essere completamente condivise o no, ma che conviene meditare, perchè portano a considerare la posizione del fisico teorico isolato nel suo genio creativo rispetto all'ambiente scientifico e culturale in cui vive. La domanda che Cini si pone è: "Gli approcci adottati dai fisici —Jordan, Dirac, Heisenberg, Pauli, Fermi. . .— sono stati caratterizzati da sostanziali differenze metodologiche ed epistemologiche. Sorge spontanea la domanda: si tratta soltanto di differenze dovute a fattori caratteriali e psicologici, o a pregiudizi filosofici puramente individuali, oppure è possibile tentare di rintracciare almeno in parte l'origine nel diverso contesto culturale e sociale nel quale essi si sono trovati ad operare?"

Non è facile la risposta, e Cini fa in questa sua nota una valida analisi del problema.

Quanto alla eventuale "filosofia" di Enrico Fermi, dobbiamo dire che è difficile trovare l'atteggiamento di Enrico Fermi rispetto a questi problemi. Egli non li trattava volentieri, quasi non ne avesse avuto il tempo nella sua breve vita. In realtà nessuno sa quanto dentro se stesso essi fossero vivi o cogenti.

A questo proposito —quanto Fermi tenesse in sé le questioni generali ed astratte, per restare nell'immediato concreto— riporto un sottile pensiero di Eugene Wigner sul famoso lavoro di Fermi sui raggi beta (ref. [4], pag. 75).

"Il lavoro sembra pervaso da una apparente ingenuità, che invita a critiche ed a generalizzazioni, e ad una presentazione più dotta. Questa apparente ingenuità, tra le varie possibili, era dopo tutto corretta e caratteristica del gusto di Fermi, e non rappresentava lo stato delle sue cognizioni quando scrisse l'articolo sui raggi beta. Certo già allora avrebbe potuto aggiungere una quantità di idee astratte, che altri avrebbero considerato importanti e di alto significato."

Questo pensiero di Wigner è riportato nella biografia di Fermi scritta da Emilio Segrè, ed egli aggiunge:

"Fermi cercava sempre la semplicità, e la sua scelta dell'interazione vettoriale, tra le varie possibili, era dopo tutto corretta; e così invece di discutere tutte le possibilità, per intuizione o per fortuna, scelse quella giusta."



Continuando il discorso di Cini, vorrei dire che meditazioni storiche come quella da lui scritta sono importanti, e dovranno interessare anche gli storici futuri, perché quello che successe negli anni 1920-1930 in fisica è insieme logico, nuovo, stupefacente. Ed insieme sembra scaturire irrefrenabile da una meditazione maturata in molti secoli.

Si noti infine il finale della nota di Cini, che riporta la conclusione di Fermi nel suo articolo sull'elettrodinamica:

“Possiamo dire in conclusione che praticamente tutti i teoremi della teoria della radiazione che non coinvolgono la struttura dell'elettrone hanno una soddisfacente spiegazione; mentre i problemi connessi con le proprietà intrinseche dell'elettrone sono ancora lontani dalla loro soluzione.”

**6'3.** *Nicola Cabibbo.* – Con l'articolo di Nicola Cabibbo, “Le interazioni deboli” [6], si apre la storia scientifica di Fermi verso l'immortalità. Ci riferiamo qui in particolare alla nota di Fermi del 1933 “Tentativo di una teoria dell'emissione dei raggi beta” (FNM 76). È questa un'opera che Parisi [6] considera il più grande contributo teorico di Enrico Fermi, e che apre in realtà un campo nuovo della fisica, che nasce da una esperienza nucleare, ma arriva presto a dominare con la sua presenza tutto l'Universo.

L'articolo di Cabibbo apre “alla Fermi”, partendo dai fatti sperimentali iniziali, e spiegando l'interesse immediato di queste cose. È quindi un modello di presentazione didattica, e non resta che leggere il suo magistrale racconto.

La teoria di Fermi si inserisce nel quadro generale dei campi quantistici delineato da Jordan e Klein. Dice infatti Cabibbo “Il linguaggio dei campi permetteva ormai di descrivere fenomeni in cui delle particelle sono create e distrutte; ma il lavoro di Fermi sulla radioattività beta è il primo in cui questa possibilità sia stata usata al di fuori della teoria dei fotoni.”

Cabibbo ha presentato nella sua nota la storia delle interazioni deboli non solo sino alle scoperte fondamentali che Enrico Fermi fece in tempo a conoscere, ma dal '54 in poi sino ai giorni nostri. Egli lo può e lo deve fare, perché nel campo delle interazioni deboli il contributo teorico e le scoperte italiane hanno avuto un ruolo essenziale.

Cabibbo divide la storia delle interazioni deboli in due periodi. Il primo periodo parte dal lavoro di Fermi del 1933, e si chiude con la scoperta della violazione della simmetria di parità (1956). Esso comprende gli esperimenti condotti da Conversi, Pancini, Piccioni (1946) [2], la scoperta dei mesoni  $\pi$ , la scoperta di nuove particelle, mesoni  $K$  ed iperoni.

Una seconda fase delle ricerche sulle interazioni deboli si apre intorno al '60, quando il decadimento delle nuove particelle sembrava violare, nelle sue frequenze, la universalità delle costanti deboli. Rimandiamo questa storia fondamentale al discorso di Cabibbo. Ma vogliamo sottolineare che la soluzione di questi problemi fu trovata proprio da lui, nel 1963, con una nota ormai classica [11] nella letteratura scientifica, e con l'introduzione del famoso “angolo di Cabibbo”, che nella nota di questo autore è chiamato angolo di mescolamento, quale effettivamente esso è.

Cabibbo ci porta nella sua nota ai risultati attuali, al mescolamento della massa dei neutrini, al ruolo delle interazioni deboli nella teoria dell'Universo, al problema della

energia solare. È un campo di ricerche ancora lontano da una esplorazione completa. Voglio riportare anche qui il finale della sua nota.

“La teoria di Fermi delle interazione deboli è ormai confluita nella più generale teoria delle particelle elementari che va sotto il nome di Modello Standard. Questi sviluppi sono descritti nel contributo di Jacob e Maiani in questo volume. È però importante ricordare che la teoria di Fermi mantiene ancora oggi il suo valore, sia per la validità delle soluzioni proposte, sia come stimolo per una serie di ricerche che hanno impegnato i fisici per quasi settant’anni, e che ancora li impegneranno nei decenni a venire. In questa teoria si riflette la grandezza di Fermi, la firma di un grande maestro”.

6’4. *Franco Bassani*. – La nota di Franco Bassani porta il titolo “Enrico Fermi e la Fisica dello Stato Solido” [6]. Bassani parte dalla illustrazione della statistica di Fermi, e dimostra con chiarezza la consapevolezza che Fermi immediatamente ebbe dell’importanza della sua scoperta. In particolare è da ricordare l’intervento “profetico” di Fermi al congresso di Como del 1927 [ref. [5], nella nota di Bassani].

“Si può anche cercare di costruire una teoria dei metalli capace di rendere conto delle forze che tengono insieme la compagine del metallo. Basta per ciò considerare gli ioni positivi disposti ai vertici del reticolo cristallino del metallo e calcolare poi la distribuzione degli elettroni di valenza sotto l’azione delle forze elettrostatiche ... applicando naturalmente la nuova statistica al posto di quella classica. I calcoli necessari per questa teoria sono però assai lunghi e non sono ancora completi.”

Osserva ancora Bassani, uno dei fondatori della fisica dello stato solido in Italia, “Queste parole delineano un campo di studi che sarà alla base della fisica dello stato solido per tutto il resto del secolo.”

Nella sua sintetica ed efficace nota Bassani ci fa vedere come dalla teoria e dalle intuizioni di Fermi discendono la comprensione delle proprietà termiche, di trasporto, e delle proprietà ottiche di tutti i cristalli. Ma dalla sua statistica discendono anche conseguenze di grande valore intellettuale, ed infine una prima spiegazione della superconduttività, ed il fondamentale concetto di “buca” di elettrone.

Bassani ricorda il successo, per la fisica dello stato solido, del modello di Thomas-Fermi. Egli ci ricorda che Thomas ha ben meritato di associare il suo nome a questo modello, che egli anticipò rispetto a Fermi, se pure in una forma parziale, partendo dal solo principio di esclusione.

Nella seconda parte della sua nota Bassani ricorda un campo nuovo della fisica aperto da Fermi: la fisica con i neutroni, come venne successivamente chiamata, che egli precisa come la “diffrazione dei neutroni”.

È giusto ricordare che fu sempre vivo l’interesse di Fermi per lo stato solido, e che egli portò un contributo fondamentale alla nascita ed allo sviluppo di questa scienza. Forse è anche qui l’occasione per ricordare la fiducia e la forza ispiratrice di Corbino verso Fermi [4].

Prima di andare alla seconda parte della vita scientifica di Fermi —quella della ricerca nucleare, fondamentale ed applicata— vogliamo ricordare, attraverso le relazioni di

B. Bertotti, G. Gallavotti e M. Falcioni e A. Vulpiani, le prime ricerche di Enrico Fermi poco più che ventenne. Esse precedono l'epoca irrompente della meccanica quantistica, nascono negli anni 1921-1922, ed avranno una ripresa estremamente interessante, come ricordano Falcioni e Vulpiani [6], agli inizi degli anni cinquanta.

I vent'anni di Enrico Fermi sono di intensissimo lavoro, con la gioia e la volontà di capire, di calcolare, di arrivare a nuove applicazioni e nuove originali scoperte. Di questo, come ho già ricordato, si resero ben presto conto anche i fisici-matematici italiani.

**6'5.** *Bruno Bertotti* [6]. – Tra i lavori giovanili di Fermi, tutti riportati nelle Note e Memorie già ricordate [1], iniziamo con il ricordare il suo terzo lavoro, “Sopra i fenomeni che avvengono in vicinanza di una linea oraria”, presentato nel gennaio 1922 alla Accademia dei Lincei (FNM 3).

Questo è il lavoro limpidamente commentato da Bertotti nel suo saggio “Le coordinate di Fermi ed il principio di equivalenza.” Il valore di Fermi non venne subito inteso nel suo pieno valore. Forse è qui l'occasione per ricordare come i lavori precisi ed importanti ridiventano vivi anche dopo cinquant'anni, quando gli interessi scientifici ritornano, pur con ampia imprevedibile navigazione ed arricchiti da nuovi sviluppi, sul punto di partenza delineato già cinquanta anni prima.

Bruno Bertotti ci presenta, avendo efficacemente lavorato in questo campo, le ragioni per confermare il nostro interesse anche attuale per le coordinate di Fermi all'interno di un laboratorio in moto arbitrario. Riporto il pensiero finale espresso da Bertotti nella sua nota:

“Le coordinate generalizzate di Fermi sono essenziali per descrivere i fenomeni gravitazionali in vicinanza di una linea oraria ... Questo strumento concettuale e di calcolo è oggi essenziale, per esempio, per la progettazione ed il funzionamento dei rivelatori di onde gravitazionali, strumenti le cui dimensioni sono, in generale, assai più piccole della lunghezza d'onda in interesse. Essi sono in sostanza strumenti che determinano la curvatura dello spazio tempo attraverso la deviazione geodetica sperimentata da due punti materiali vicini.”

**6'6.** *Giovanni Gallavotti*. – Questa è una analisi attenta e critica dei lavori di Fermi intorno al 1921-1922: “La meccanica classica e la rivoluzione quantistica nei lavori giovanili di Fermi.”

L'autore riconosce in una chiara sintesi il valore dei lavori iniziali di Fermi, che “furono eseguiti in un periodo in cui la fisica subì rivolgimenti profondi, dei quali il giovanissimo Fermi era ben cosciente, pur nella solitudine dovuta alla scarsa, se non nulla, partecipazione della scienza ufficiale italiana.”

Nel seguito della sua nota egli si occupa di un altro gruppo di lavori, sulla meccanica, legati a questioni generate dalla nascente meccanica quantistica.

È questo un problema generale che interessò tutta la fisica europea, e ben lo presenta Gallavotti, che è un fisico teorico, anzi un meccanico di ampia fama internazionale, nel suo paragrafo “Invarianti adiabatici e ipotesi quasi ergodica”.

Si tratta di esaminare i limiti di validità della teoria di Bohr-Sommerfeld. Fermi

conclude, in un suo importante lavoro, scritto mentre era ancora a Göttingen, con una critica fondamentale ed in un certo senso definitiva all'idea degli invarianti adiabatici, sviluppando i dubbi già sollevati da Einstein nel 1917. Il paragrafo di Gallavotti non è di facile lettura, ma ben soccorre la spiegazione inserita da Gallavotti stesso nella voce [4] della sua bibliografia.

L'autore mette in chiara evidenza i limiti e gli errori di valutazione del giovane Enrico Fermi, ed anche questo è interessante e va studiato. Ricordo che nelle note e memorie di Fermi (FNM) anche Emilio Segrè riporta l'opinione che "il teorema ergodico dato da Fermi non è considerato rigoroso dal punto di vista matematico, ed è difficile renderlo tale".

Mi sembra che Gallavotti ci dia del giovane Fermi l'immagine di un'aquila che gira ampiamente intorno al proprio nido prima di spiccare il suo volo deciso verso obiettivi unici e di riconosciuto valore mondiale.

Nel suo ultimo paragrafo, "La fisica teorica in Italia e l'atteggiamento iniziale di Fermi verso la meccanica delle matrici", Gallavotti ritorna sulla disattenzione di Fermi verso l'opera dei ragazzi (la Knabenphysik), da me ricordati. Ho già commentato questa interessante parentesi della vita di Fermi. Riporto qui la conclusione finale di Gallavotti alla sua nota.

"È opportuno, per chiarezza, osservare che anche negli altri paesi, in particolare in quello di origine, la meccanica delle matrici è sempre stata e continua ad essere sostanzialmente ignorata nei corsi formativi a favore del punto di vista ondulatorio. Sarà un interessante problema storico capire come mai."

**6'7. Tullio Levi-Civita.** – Gli editori del presente libro hanno pensato conveniente, anche per dare una immagine viva "delle cose occorrenti ne' tempi suoi" <sup>(1)</sup> allegare ad esso un lavoro del grande matematico Levi-Civita, che si interessò al problema degli invarianti adiabatici, e ne scorse i chiari limiti.

"Sugli invarianti adiabatici" [6]. Questo lavoro di Levi-Civita si riferisce ampiamente ai lavori di Fermi su questo soggetto. Esso è riportato nei rapporti del Congresso di Como del 1927 [12]. Al paragrafo 1 della nota di Levi-Civita "Le recenti teorie dell'atomo e i loro schemi", si dà una chiara sintesi del problema da lui e da Fermi trattato. Scrive Levi-Civita. "Il suaccennato connubio della meccanica newtoniana con un principio selettivo di discontinuità quantistica dispiacque a molti fisici, e non ai tradizionalisti soltanto." In questo rapporto da Como 1927 si trova l'ampio lavoro di Sommerfeld dedicato anche alla statistica di Fermi, che valse a confermare il valore fondamentale di essa nello stato solido, come è illustrato dalla nota di Bassani da noi pubblicata [6].

**6'8. Massimo Falcioni e Angelo Vulpiani.** – È di notevole interesse la nota di Falcioni e Vulpiani sul "Contributo di Enrico Fermi ai sistemi non lineari" [6]. Anch'essa ci porta, come già abbiamo osservato, ad una meditazione storica. Fermi, Pasta e Ulam aprirono nel 1954-1955 una nuova linea di pensiero e di ricerca. Essi ribadirono l'importanza

---

<sup>(1)</sup> Compagni D. (1255-1324).

di uno studio sistematico dei sistemi non lineari, e la necessità dell'uso di simulazioni numeriche accanto allo studio teorico ed all'esperimento di laboratorio. Questa esigenza di un chiarimento sui sistemi non lineari fu probabilmente sentita da Fermi per vari decenni, anche considerando le analisi e le critiche ai suoi lavori del 1922-1924. Il suo contributo alla fisica mondiale del 1930-1950, non gli permise di approfondire il settore strettamente fisico-matematico. La nota chiarificatrice di Falcioni e Vulpiani ci mette in contatto con un aspetto che a volte i "fisici di prima linea" sperimentale e teorica ignorano; il poderoso e a volte lento andare della fisica matematica, che può arrivare a nuovi importanti filoni di ricerca fondamentale, quali quelli legati allo studio dei sistemi integrabili o del caos dinamico, che in questi anni stanno aprendo vie nuove al nostro pensiero scientifico.

Falcioni e Vulpiani partono dall'analisi di Fermi del 1923. Questi autori ci spiegano come il giovane Fermi argomentò, e questa conclusione venne accettata da tutti i fisici, che i sistemi hamiltoniani in genere sono da considerarsi ergodici, diciamo approssimativamente capaci di toccare con le loro soluzioni tutti i punti dello spazio assegnato, non appena si aggiunga una perturbazione epsilon comunque piccola alla hamiltoniana imperturbata.

Ebbene, come questi autori ci spiegano, con precisi riferimenti, questa affermazione non è generalmente vera. Furono proprio le ricerche teoriche di Kolmogorov, e le analisi al computer di Fermi, Pasta ed Ulam che portarono a conclusioni inattese. Le conseguenze di questa ricerca, raccontata in modo affascinante da Falcioni e Vulpiani, hanno in questi anni avuto uno sviluppo crescente nel campo della fisica teorica e della fisica matematica. In particolare essi ricordano la scoperta, negli anni sessanta, dei solitoni. Vogliamo concludere sottolineando l'importanza delle affermazioni finali di Falcioni e Vulpiani nella loro nota:

"La maggior parte dei fisici furono convinti dell'importanza dei sistemi non lineari non tanto dalla forza dei teoremi di Kolmogorov, Arnold e Moser quanto dalla potenza suggestiva dei disegni ottenuti da simulazioni al computer dei pionieri del caos: Fermi, Pasta, Ulam e Chiricov, Lorentz, Hénon. L'utilizzo sistematico del computer ha permesso la rinascita di interi settori di ricerca: gli esempi più rilevanti sono forse la turbolenza ed i sistemi dinamici caotici."

Questa nota di Falcioni e Vulpiani porta maggior luce al consiglio di Fermi sul calcolatore elettronico che riporto nel mio commento alle "Ultime lezioni di Enrico Fermi" descritte da Renato Angelo Ricci.

Veniamo ora al periodo nucleare della attività creativa di Fermi, che inizia negli anni trenta, e continua sino alla sua prematura morte.

**6'9.** *Ugo Amaldi.* – Questo lavoro [6], "La fisica dei nuclei dagli anni trenta ai giorni nostri", copre in rapida sintesi gli sviluppi della fisica nucleare dal suo nascere, si ferma a commentare i grandi risultati della scuola di Fermi degli anni trenta, ma si estende inoltre sino ai risultati ed ai problemi di oggi. Egli riporta i passi più significativi degli scritti degli allievi diretti di Fermi, in particolare Edoardo Amaldi ed Emilio Segrè, soffermandosi sugli anni gloriosi della fisica nucleare di Roma, 1934-1938.

Questo modo di presentare va a nostro giudizio molto bene; infatti cogliamo all'opera Enrico Fermi con i suoi allievi, sentiamo il palpitare della scoperta, l'ansia ed il correre tra i corridoi di via Panisperna di Amaldi, Segrè, Rasetti e Fermi stesso. Voglio osservare che in un liceo buona parte di questo racconto si può fare e può essere capito, può anzi essere di ispirazione ad una ulteriore curiosità di sapere.

È certo che la scoperta delle proprietà dei neutroni lenti e la rapidità della sua interpretazione ci danno un nuovo esempio della potenza di Fermi rispetto ad un inatteso fenomeno naturale.

Dal 1935 al 1938 seguirono anni di intenso riordino, seppure piuttosto confusi, anche per la incerta situazione politica italiana. Sin che il racconto di Ugo Amaldi ci porta alla scoperta, non prevista, inattesa, della fissione nucleare. Nell'ultima parte delle note di Amaldi si riportano i risultati dagli anni sessanta in poi della fisica delle particelle e della fisica nucleare. Due campi che lo stesso Fermi non ha mai voluto chiaramente distinguere.

Il racconto delle enormi conseguenze civili delle proprietà dei neutroni e della fissione viene dalla nota di Carlo Salvetti, che adesso commentiamo. Riprenderemo poi il racconto della ricerca fondamentale sui nuclei e sulle particelle subnucleari.

**6'10.** *Carlo Salvetti.* – Il racconto di Carlo Salvetti inizia dalla scoperta della scissione (1938) e ci presenta la “Nascita dell'energia nucleare: La pila di Fermi” [6].

Salvetti fa un racconto dettagliato ed incalzante di tutto il contrasto storico e scientifico, in tempi di guerra e di angoscia, in cui la vicenda “pila” si evolve. Non può non lasciarci pensosi e commossi il fatto stesso che quell'Enrico Fermi e gli altri grandi fisici che sette anni prima avevano svelato al mondo le forze deboli e le forze nucleari per puri fini di ricerca scientifica si sono dovuti impegnare per arrivare primi alla conquista di una nuova grande risorsa di interesse civile e militare come l'energia nucleare. Il racconto di Salvetti, che ha Fermi come inevitabile protagonista, si estende dal 1939 a quel 2 dicembre 1942 quando la Pila entra in funzione divergente, e si dimostra al mondo la disponibilità di una nuova energia. Si noti in quell'intenso drammatico racconto il “vertice” della nostra avventura umana, allorchè la pila diviene critica, e viene lasciata funzionare per 28 minuti, con un  $k_{\text{eff}} = 1,0006$  ed una potenza massima di 1/2 watt. Ricordiamo quel monumento dedicato a Chicago alla pila e ad Enrico Fermi, e proprio nel luogo dove la prima pila funzionò.

Questo successo, e la dura strada per arrivare ad esso, sono ben descritti da Carlo Salvetti, che è stato uno dei maggiori responsabili per lo studio e l'impiego dell'energia nucleare a fini pacifici in Italia. Il suo racconto apre la via ad una varietà di considerazioni che possono portare ad ammirazione come a tormentose meditazioni per quanto gli uomini, se ben coordinati da una mente eccelsa, possono fare.

Dopo il racconto di Salvetti, che si ferma a quel 2 dicembre 1942, che ci dimostra la completezza di Enrico Fermi anche come fisico sperimentale, e la sua coerenza e determinazione nel raggiungere un fine, viene spontaneo interrogarsi sulle conseguenze della prima pila di Enrico Fermi, e sugli sviluppi attuali delle nuove energie.

6'11. Questo viene fatto in due successive note [6]. Una di *Augusto Gandini* "Dalla Chicago Pile ai reattori della prossima generazione". L'altra di *Maurizio Cumo* "Reattori e tecnologie nucleari: Lo sviluppo nel mondo". – In queste note si sottolinea l'impetuoso sviluppo dell'energia nucleare a partire dalla prima pila, e si indicano gli orientamenti attuali per uno sviluppo sicuro dei reattori e di ogni sorgente nucleare, sulla terra, nel mare e, presto, nello spazio. Il problema della sicurezza dal pericolo della radioattività e degli incidenti è qui trattato da due autori che hanno dedicato a questo tema molti anni intensi di studio e ricerca.

Sono questi due lavori che ci introducono alla attuale situazione nel mondo dell'energia nucleare, come ai gravi problemi della necessità di una equa distribuzione dell'energia tra i Paesi, della quale gli uomini hanno un crescente bisogno. Forse possiamo dire che le due strade, la via pratica dell'energia nucleare e la via della ricerca fondamentale, che confluirono entrambe per storica fatalità nelle stesse due mani di Enrico Fermi, oggi sono tra loro piuttosto distinte.

Ritornando al campo della ricerca fondamentale, Ugo Amaldi, nell'ultima parte della sua nota, ci parla delle scoperte che discendono dal lavoro della precedente generazione, arrivando ai "Punti focali della ricerca d'oggi". Questa è una utile sintesi aggiornata, che ci aiuta a comprendere che siamo ancora lontani, nel campo delle particelle e dei nuclei, da un quadro definitivo. Abbiamo raggiunto nuovi pianori, e scalato alte montagne. Le nuove scoperte alimentano la nostra curiosità di sapere. Siamo ghiotti per essa (mi si perdoni il termine dantesco) ma forse una meta finale è ancora lontana. A queste domande ed a questa problematica è anche dedicata parte della nota di Jacob e Maiani [6].

Qui termino la parte nucleare, fondamentale ed applicata, e vado alle ultime lezioni di Enrico Fermi, commentate da Renato Angelo Ricci.

6'12. *Renato Angelo Ricci*. – "Le ultime lezioni di Enrico Fermi" [6]. Questa nota non si inserisce nella linea per unità di argomento, come è naturalmente avvenuto con le altre. Infatti essa è un ricordo degli ultimi anni di Enrico Fermi in Italia e della sua ampia attività di lezioni e di conferenze su argomenti diversi della fisica contemporanea.

Ricci ricorda nella sua nota anche l'attività didattica di Enrico Fermi nelle sue ultime opere, quali "Nuclear Physics", del 1949-1950, e la breve e quasi profetica opera "Elementary Particles" del 1951. Sono libri che restano ancora negli scaffali di oggi, non negli archivi della fisica. Infatti, come Ricci ricorda, in vari luoghi, le idee generali in essi contenute sono di valida guida anche oggi per chi vuole avviare alla ricerca gli studenti di fisica. Sono lezioni che anch'io ho ricordato agli studenti di fisica negli anni ottanta-novanta, per quel modo universale di Fermi di inserire uno specifico problema nel quadro generale della fisica.

Le riproduzioni riportate da Renato Ricci delle note e degli appunti di Fermi scritti di sua mano in quegli ultimi anni sono documenti diretti della sua costante ricerca di sintesi e di chiarezza.

Al punto 3 della sua nota, Ricci parla delle ultime lezioni di Fermi a Varenna, nel 1954, alla Villa Monastero, sul lago di Como. Ben riporta, Renato Ricci, la bella pagina di Fermi nella sua lezione sullo spin isotopico, inventato da Heisenberg. La lezione

di Heisenberg in quello stesso corso è dedicata alla “Produzione dei mesoni negli urti di grandissima energia.” Questo è un problema con il quale si misurarono negli anni cinquanta Fermi ed Heisenberg, con grande stile e chiarezza. Anche questo mi fece e mi fa ripensare al grande contributo alla fisica di questi due grandi, tanto diversi a tanto sottili nel loro approccio ai problemi fondamentali. Io fui in parte testimone a questo corso, e mi permetto quindi di aggiungere alla nota di Ricci alcuni miei ricordi diretti, anche, come vedrete, per un debito di gratitudine al nostro Fermi.

Le ultime lezioni della scuola di Varenna a cui Enrico Fermi assistette in Italia, nell’agosto 1954, sono quelle dedicate ai progetti europei di macchine acceleratrici, con contributi di E. Amaldi, di J. Adams, di E. Persico e di chi scrive [13]. In particolare le due ultime furono dedicate al “Progetto Italiano di una macchina acceleratrice.” Enrico Persico presentò la sua teoria sulla cattura degli elettroni in un elettrosincrotrone di alta energia. Io presentai il nostro progetto, già piuttosto avanzato, per l’elettrosincrotrone italiano, che entrò in funzione nel 1958 a Frascati.

Fermi ascoltò e si interessò molto al progetto, soprattutto alla elegante teoria di E. Persico e dei suoi collaboratori teorici (il gruppo Sincrotrone era presente a Varenna con Persico, i giovani Carlo Bernardini e Ferdinando Amman e con me). Ma debbo qui ricordare che dalla attenzione di Fermi scoccarono due consigli che cogliemmo con la dovuta attenzione, e che effettivamente orientarono la nostra impresa negli anni seguenti.

Dopo avere ascoltato le nostre lezioni, Fermi ci disse —e lo confermò con chiari argomenti— che nelle nostre condizioni, e con quella apertura della ciambella, l’intensità finale dei fasci gamma dalla macchina era più che proporzionale alla energia  $E$  di iniezione degli elettroni. Conveniva puntare ad innalzare  $E$ , nei limiti concessi dai finanziamenti e dai tempi. (Noto che questo è forse l’ultimo intervento di Enrico Fermi sulla fisica italiana, almeno in Italia, insieme all’altro che tra poco dirò.)

Questo ricordammo chiaramente quando dovemmo orientarci ad un iniettore di elettroni definitivo per il nostro progetto [14], e puntammo decisamente ad una nuova macchina di Van de Graaff, ormai disponibile sul mercato. Se il nostro sincrotrone tenne il record di intensità per almeno due anni rispetto alle consimili macchine degli Stati Uniti e del mondo, questo lo si deve anche, od in buona parte, al consiglio di Fermi, che non esitammo a sottolineare alla Comunità Scientifica Italiana che doveva decidere sulla nostra iniziativa.

Ma un altro consiglio decisivo venne da Enrico Fermi a noi, in quei magici ultimi giorni. Gilberto Bernardini, il grande fisico nostro maestro di muoni, mesoni e di raggi cosmici, è stato di fatto, nel 1952-1953, l’ispiratore del sincrotrone di Frascati. Quando la sede —Frascati— fu definitivamente assegnata, rimasero a disposizione dei fondi, che erano stati ormai assegnati alla ricerca fondamentale, in particolare offerti da Pisa e da Lucca. Il consiglio di Fermi fu immediato, passeggiando per i sentieri della villa Monastero: “fatene un calcolatore elettronico”. Questo consiglio venne seguito da G. Bernardini e da M. Conversi, e nacque così una iniziativa di avanguardia di calcolo elettronico in Pisa, che molto giovò alla evoluzione nuova della ricerca scientifica italiana.

Insomma, sono uno dei tanti che hanno ricevuto consigli importanti da Enrico Fermi, sempre capace di arrivare al punto fondamentale, pur da una varietà di elementi appena



raccolti. Lavorando alla prefazione di queste note, dalle quali tanto ho imparato, ho scoperto, leggendo l'articolo di Falcioni e Vulpiani [6], l'origine di tanta prontezza di Fermi nel consigliare un calcolatore. Egli era ancora sorpreso, sulla base del suo recente lavoro con Pasta ed Ulam, del contributo decisivo del calcolatore ben impiegato, ad un problema fondamentale come quello del comportamento delle soluzioni di una equazione hamiltoniana perturbata.

Vengo ora alla nota finale di questa bella serie, che si estende dalle interazioni deboli alla loro origine, sino ai problemi sulle particella elementari dei giorni nostri.

6'13. *Maurice Jacob e Luciano Maiani.* – La nota “L'eredità di Enrico Fermi nella fisica delle particelle” [6] riporta risultati di grande interesse, che restano nella storia della fisica, e che sono stati il lancio d'avvio delle nostre conoscenze di oggi.

Diciamo subito che è un merito di questa nota, e non solo di questa, in questo libro, il dimostrare che il cammino teorico e sperimentale è certamente immenso, dalla morte di Enrico Fermi ad oggi, ma che forse siamo consapevoli come non mai che siamo lontani da una teoria coerente e completa del nostro Universo fisico, e molti problemi dovranno attendere ancora anni per la loro soluzione.

Questi autori danno una lista ragionata dei risultati raggiunti da Enrico Fermi nella sua vita, con il ricordo di alcuni episodi poco noti ed impressionanti (l'intuizione di Flerov). Essi hanno scelto tre dei nove argomenti da loro indicati nella nota come quelli che hanno reso Fermi noto nel mondo: la teoria della disintegrazione beta; la teoria secondo la quale il mesone  $\pi$  (pione) è uno stato legato di un barione e di un antibarione; l'urto anelastico pione-nucleone.

La disintegrazione beta, e la scoperta delle interazioni deboli è, come abbiamo ricordato, il contributo teorico più alto portato da Enrico Fermi alla storia della fisica. Esso è stato già raccontato, in un'altra nota dedicata ad esso: quella di Nicola Cabibbo [6]. Ma permettetemi di difendere le due presentazioni delle disintegrazioni beta nello stesso libro: si tratta di fatti e risultati tra loro coerenti, ma visti con prospettive diverse da autori che hanno contribuito con scoperte originali a questa fisica. Ad esempio, da queste note, e da quella di Marcello Cini dedicata essenzialmente alle ricerche di elettrodinamica, si coglie lo stretto legame tra queste teorie che ha portato, negli anni settanta, alla teoria elettrodebole. A distanza di sessant'anni e più, vediamo con grande interesse storico la nobile intensa gara che ha avuto in quegli anni come protagonisti principali Enrico Fermi e Wolfgang Pauli.

Il secondo argomento trattato “È il pione una particella fondamentale, o è uno stato legato di barioni?” ci porta ad un problema centrale degli anni cinquanta-sessanta. Esso parte, come dicono Jacob e Maiani, da un lavoro di Fermi e Yang del 1949. È una ipotesi che poteva sembrare allora a molti fisici grottesca, che il pione non fosse elementare, ma piuttosto uno stato legato tra un nucleone ed un antinucleone. Jacob e Maiani ci fanno vedere come nasce da questi inizi il mondo delle vere particelle elementari (almeno così sinora pensiamo), i quark ed i leptoni.

Il terzo argomento (l'urto pione-nucleone) ci porta a quelle lezioni di Varenna già ricordate da Ricci. Qui sono raccontati gli anni di Enrico Fermi — i suoi ultimi anni di

vita— quando con entusiasmo lavorò alle ricerche sperimentali sui pioni utilizzando il nuovo sincrociclotrone di Chicago da 450 MeV, ed aprì la nuova analisi delle risonanze barioniche. Egli tenne in questa analisi un atteggiamento strettamente fenomenologico, pur sapendo delle previsioni teoriche di una possibile risonanza 3-3.

Da quegli anni Jacob e Maiani ci portano alla nascita della quantocromodinamica, alla dinamica chirale, allo Standard Model ed alle possibili estrapolazioni da esso.

È una sintesi impressionante, che allarga la nostra visione del mondo, ed insieme ci dimostra quanto cammino ha ancora la fisica davanti a sé. Nella parte finale essi ci ricordano che è aperta la caccia all'Higgs, e dicono: "l'Higgs è attivamente cercato con gli acceleratori in funzione ed in preparazione. Sino ad ora non si è raggiunto un segnale sicuro dell'esistenza del bosone Higgs con l'acceleratore LEP, e forse la sua massa è maggiore di 113 GeV".

Forse ci è lecito osservare, pur con tanti traguardi raggiunti, che oggi siamo consapevoli che esistono nell'universo e nella nostra mente fatti, teorie e fenomeni che non sappiamo concepire e neppure sappiamo di non sapere. Un futuro appena iniziato.

## 7. – Alcuni commenti finali

L'intensa vita di Enrico Fermi è contenuta nelle tre biografie iniziali [6]. Ci permettiamo di aggiungere qui alcuni commenti e ricordi.

*7.1. Quanto sappiamo.* – La lettura di queste quattordici note, scritte in buona parte da chi Fermi l'ha direttamente conosciuto ed ha beneficiato del suo consiglio, ci mostra l'ampiezza dei suoi pensieri. Egli ed i suoi compagni di avventura ci hanno indicato ciò che l'uomo può capire e forse potrà fare in futuro: un potere destinato ad ingigantire la sua presenza sul pianeta. Non ci dice quello che può discendere da tutto questo. Anzi in questo fu Fermi cautissimo, pur consapevole del bene e del male contenuto nel destino umano.

Permettetemi di sottolineare oggi la potenza degli umani nel capire, nell'aiutare, ed anche nel nuocere. Il progresso è stato continuo in questi millenni passati, dall'uso degli utensili, al linguaggio, all'arte negli ultimi trenta o quarantamila anni, all'invenzione della scrittura seimila anni or sono, e poi alla geometria, alla stampa, agli strumenti ottici, all'elettricità, alle conoscenze nucleari. È un processo immenso, concretato da alcuni uomini dotati come lui di qualità straordinarie. Ma accanto a loro, ed altrettanto necessari, vedi gli allievi e le generazioni seguenti che li capiscono, li prendono ad esempio, colgono e diffondono le intuizioni e le scoperte. La gioia del nuovo, la gioia di capire.

Insomma, ripensando questa corsa nel tempo, non posso non restare attonito ed ammirato dal nostro cammino in questi secoli. Dove saremo tra tremila anni? Quante cose sapremo che non solo risolveranno i nostri problemi di oggi, che è forse il punto minore del nostro progresso, ma che oggi neppure sappiamo di non sapere?

*7.2. Una meditazione, con Enrico Fermi, sulle nostre responsabilità future.* – Ma qui, su quest'onda della speranza, dobbiamo rallentare, fermarci, meditare. Potranno gli uomini arrivare a controllare le nuove conoscenze tecniche e scientifiche, dalla fisica alla

biologia, con un accordo o una regola di comportamento universale, raggiungendo la pace tra le nazioni? Siamo altrimenti consapevoli del rischio di una immensa catastrofe, beninteso limitata al nostro piccolo pianeta? Oppure potremo nel futuro arrivare a cogliere il piacere, la curiosità di capire l'Universo e noi stessi, dei quali ancora sappiamo tanto poco?

Questa nostra ambiguità del futuro ci riporta ancora ad Enrico Fermi. Infatti egli, e non da solo, con la scoperta dell'energia nucleare ci ha portato sulla sottile cresta tra due mondi, tra la liberazione e la catastrofe. Ci ha anticipato un futuro ancora ignoto e che ormai ci spetta.

Molti si sono chiesti cosa Fermi pensasse delle nuove forze da lui suscitate, delle conseguenze sul futuro dell'umanità.

Il problema è ampio, perchè ci porta a valutare l'uomo Fermi, lo scienziato, e con lui la responsabilità degli scienziati nella futura storia umana. Molto si è meditato e si è scritto su questo problema, e su quello che Fermi veramente pensasse (vedi la Celebrazione Fermiana del 1992 [8].) Una cosa è da ricordare: egli non amava uscire, nei suoi scritti e nelle sue affermazioni, dal campo della fisica.

Citerò solo, incompleto esempio, due casi in cui impegnò la sua coscienza morale, ed un pensiero espresso ad Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini.

Uno è il finale del messaggio che Fermi mandò a Hutchinson, presidente della Università di Chicago il 6 settembre 1945 (ref. [4], pag. 163; ref. [3], pag. 144). Egli commentava lo sviluppo della bomba a idrogeno, dopo Hiroshima: la potente bomba che dondola anche in questi anni come la spada di Damocle sopra le nostre teste. In questa lettera egli scrisse, tra l'altro:

“Il nuovo mezzo di distruzione ha tale potenza che in caso di guerra tra due potenze entrambe dotate di queste armi, entrambe avrebbero le loro città distrutte. . . . La possibilità di un accordo internazionale dovrebbe essere subito esplorata con energia e con speranza. Che questo accordo internazionale sia possibile, è oggi la più fervida speranza degli uomini che hanno contribuito a questi sviluppi.”

L'altro caso si ritrova in una lettera che egli scrisse insieme a I. Rabi nel 1947 (ref. [8], pag. 231; [4], pag. 169; [3], pag. 144):

“Il fatto che la capacità di distruzione di questa arma sia illimitata fa sì che la sua stessa esistenza e la conoscenza del modo di costruirla rappresentino un pericolo per l'intera umanità. È ineluttabilmente un male sotto qualunque punto di vista. Per questa ragione ci pare importante che il Presidente degli Stati Uniti dichiari agli americani ed al mondo intero che in base a principi etici fondamentali noi giudichiamo che sia un grave errore intraprendere lo sviluppo di quest'arma.”

Spero in fine di riportare correttamente un suo pensiero, che ho solo ricevuto verbalmente da Amaldi e Bernardini. Nel 1954 a Varenna, a pochi mesi dalla sua morte, egli disse che questo nuovo secolo potrebbe essere decisivo della storia umana, oscillante come è tra una possibile tragedia assoluta, e l'inizio di una epoca di nuova serenità.

Sono consapevole che il lavoro dei saggi, scienziati o no, per portare luce nel groviglio

di pensieri e di responsabilità uscito da quegli anni drammatici 1940-1960, e per indicarci la via alla pace nel mondo, è ancora agli inizi, e va approfondito.

Ma qui vorrei chiudere rivolgendomi in particolare agli insegnanti di scienze di ogni ordine di scuola, per commentare con loro la nostra grande responsabilità. Abbiamo detto che questa avventura umana può avere un futuro magnifico ma potrebbe finire entro qualche secolo in una catastrofe civile.

Ebbene, questa prospettiva non è esclusa, ma dipende da noi. È nostra responsabilità illustrare alle nuove generazioni con chiarezza i termini del problema, scientifici ed umani. Io so, per mia esperienza di insegnamento nelle scuole medie, che su questi problemi i giovani possono appassionarsi e capire, e che anche il commento scientifico obiettivo può essere un filo d'Arianna che li porti fuori dal labirinto. Occorre spiegare la gravità del nostro futuro, ma insieme dare la speranza, nella quale credo, che il mondo può migliorare con la nostra opera. Dobbiamo liberarci da ogni idea o superstizione che rende gli uomini tra loro nemici, e persuadere e persuaderci che anche il progresso scientifico, dal quale non si torna indietro, può ormai imporci, quasi violentemente, la necessità della pace e dell'altruismo.

Con questa speranza ci inchiniamo oggi, nel suo centenario, ad Enrico Fermi ed ai grandi che ci hanno aperto un mondo nuovo.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Lavori di Enrico Fermi: *Enrico Fermi. Note e Memorie (Collected papers)* (Accademia Nazionale dei Lincei e University of Chicago Press), Vol. I, 1961 e Vol. II, 1965. Ogni lavoro è indicato FNM, seguito dal numero d'ordine con cui è presentato.
- [2] CONVERSI M., PANCINI E. e PICCIONI O., *Phys. Rev.*, **71** (209) 1947.
- [3] PONTECORVO B., *Enrico Fermi* (Edizioni Studio Tesi, Pordenone) 1993.
- [4] Queste notizie sono riportate nella bella opera di Emilio Segrè: *Enrico Fermi, fisico* (University of Chicago Press, 1970, Zanichelli, Bologna, 1971).
- [5] PAIS A., *Inward Bound* (Oxford, Clarendon Press, 1986) pag. 250 e segg.
- [6] Questi articoli e note sono presentati in questo libro con i loro riferimenti bibliografici, ed in tutta la loro estensione.
- [7] DE MARIA M., *Un fisico da Via Panisperna all'America, Le Scienze*, collana "I grandi della Scienza" **8**, II, 1999.
- [8] WEISSKOPF V., *Proceedings della Accademia dei Lincei. Atti dei Convegni Lincei*, Vol. **104**, *Symposium dedicated to Enrico Fermi, Rome, 10 December 1992*, pag. 231.
- [9] ANDERSON H. E., in "All in our times." *The Bulletin of Atomic Scientist*, 1975, pag. 71: *Assisting Fermi*.
- [10] FERMI E., *Rev. Mod. Phys.*, **132** (1932) 87.
- [11] CABIBBO N., *Phys. Rev. Lett.*, **10** (531) 1963.
- [12] LEVI-CIVITA T., "Sugli invarianti adiabatici", *Congresso Internazionale dei fisici, 11-20 Sett. 1927* (Zanichelli, Bologna) pag. 475 (Onoranze ad Alessandro Volta, nel primo centenario della morte.).
- [13] Supplemento al Vol. II, Serie X del *Nuovo Cimento*, **1** (1955). Fascicolo Dedicato alla Memoria di Enrico Fermi.
- [14] *Proceedings of the International Conference on "The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States, 1945-1960"* (World Scientific, Singapore) 1989.

---

Giorgio Salvini, Fisico, è nato a Milano il 24 aprile 1920. Professore di Fisica nelle Università di Pisa (1952-55) e Roma (dal 1955; Professore emerito dal 1995). Nel 1952-1960 diresse i lavori per la costruzione dell'Elettrosincrotrone Italiano da 1100 MeV, che entrò in funzione nel 1958 a Frascati. Ha compiuto ricerche sugli sciami estesi dei raggi cosmici, e sulla fotoproduzione dei mesoni. In collaborazione internazionale al CERN (Centro Europeo di Ricerche Nucleari) ha stabilito l'esistenza dei bosoni intermedi  $W$  e  $Z$  (1978-1983). È Presidente onorario dell'Accademia dei Lincei. È stato Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica.

---