

Roberto Casalbuoni

# Enrico Fermi dopo il Nobel: verso Chicago, i suoi studenti e i loro Nobel

*After Enrico Fermi's Nobel: Towards Chicago, Fermi's Students and their Nobel Prizes*

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze  
Sezione INFN di Firenze

**Riassunto.** Viene ricordata la figura di Enrico Fermi, come abbia influenzato profondamente la fisica americana e, tramite i suoi studenti, ne abbia rivoluzionato l'insegnamento. A questo riguardo vengono ricordati i premi Nobel vinti dai suoi studenti di dottorato e di altri che furono da lui ispirati.

**Parole chiave.** Fermi, Nobel, Fisica, Chicago, Stoccolma.

## Introduzione

Fermi è stato un grandissimo fisico del 900 ed è stato anche molto particolare, in quanto ha dato contributi fondamentali sia in fisica teorica che in fisica sperimentale. Infatti, il premio Nobel che gli fu riconosciuto nel 1938 era dovuto alle sue ricerche nella radioattività indotta da neutroni effettuate quando era Pro-

**Abstract:** We remember the figure of Enrico Fermi, how he greatly influenced American physics and, through his students, revolutionised its teaching. In relation to this, the Nobel prizes won by his PhD students and others who were inspired by him are also remembered.

**Keywords:** Fermi, Nobel, Physics, Chicago, Stockholm.

## Introduction

Fermi was a brilliant 20th century physicist. He was also very special, making fundamental contributions in both theoretical and experimental physics. The Nobel prize he received in 1938 was due to his research into neutron-induced radioactivity, carried out during his time as Professor in Rome. But for many people, especially his students, Fermi was a great teacher. Telegdi, a colleague of Fermi's in Chicago, remembers his outstanding teaching skills with these



fessore a Roma. Ma per molti, in particolare per i suoi studenti, Fermi è stato un grande insegnante. Telegdi, che fu un collega di Fermi a Chicago, ha così ricordato le sue grandi doti di insegnante: *“Si può concepire che qualche altro fisico (o gruppo di fisici) avrebbe potuto raggiungere gli stessi risultati che Fermi raggiunse alla Columbia e a Chicago (includendo la realizzazione della prima reazione a catena), ma pensare che un altro uomo o donna avrebbe potuto avere lo stesso ruolo di Fermi come insegnante (nel più generale senso della parola) sfida i limiti dell’umana immaginazione. Attraverso l’influenza esercitata dai suoi studenti Fermi rivoluzionò l’insegnamento della fisica negli Stati Uniti e, probabilmente, in tutto il mondo occidentale.”*

Lo scopo di questo articolo è appunto quello di ricordare e mettere in luce l’insegnamento di questo grande scienziato, attraverso i ricordi dei suoi studenti e colleghi che derivano da una conferenza per il centenario della sua nascita che si è svolta nel 2001 [Cronin 2004]. Questi ricordi si riferiscono principalmente al periodo di Chicago, ma Fermi svolse una intensa attività didattica anche a Roma e alla Columbia.

Dopo il Premio Nobel conferitogli il 10 Dicembre 1938 a Stoccolma, Fermi fece una breve visita a Bohr a Copenaghen e poi si imbarcò, con la moglie Laura e i figli Nella e Giulio, per New York, dove sbarcò il 2 Gennaio 1939. Fermi aveva ricevuta una offerta dalla Columbia University, dove rimase sino al 1942, quando andò a Chicago.

Nel periodo intercorso tra il Nobel e il suo arrivo a New York, era stata effettuata una scoperta fondamentale da parte di Han e Strassmann, la fissione dell’Ura-

*words: “It is conceivable that some other physicist (or group of physicists) could have achieved the same results achieved by Fermi at the Columbia and Chicago (including the realisation of the first chain reaction), but to think that another man or woman could have played the same role as Fermi as a teacher (in the broadest sense of the word) challenges the limits of human imagination. Thanks to the influence exerted by his students, Fermi revolutionised the teaching of physics in the United States and, probably, all over the Western world.”*

The aim of this article is to remember and highlight the teachings of this remarkable scientist, through the memories of his students and colleagues taken from a conference to mark the centenary of his birth, held in 2001 [Cronin 2004]. These memories refer mainly to his time in Chicago, but Fermi also carried out an intense teaching activity in Rome and at the Columbia.

After the Nobel Prize awarded to him in Stockholm on the 10th of December 1938, Fermi made a brief visit to Bohr in Copenhagen and then sailed with his wife Laura and their children, Nella and Giulio, to New York, where he disembarked on the 2nd of January 1939. Fermi had received an offer from Columbia University, where he stayed until 1942, when he went to Chicago.

Between winning the Nobel Prize and arriving in New York, a fundamental discovery was made by Han and Strassmann, the fission of Uranium. Fermi was unaware of it until, a few days after his arrival in the States, Bohr also arrived in New York and told him the news. There was another physicist at Columbia, Leo Szilard, of Hungarian origin, who had studied, albeit in abstract form, the possibility of a chain reaction. As soon as Fermi and Szilard spoke with Bohr, they understood that the fission of Uranium could trigger such a reaction and began experimenting with

nio. Fermi rimase all'oscuro di ciò fino a quando, pochi giorni dopo il suo arrivo negli USA, anche Bohr arrivò a New York e comunicò la notizia. Alla Columbia era presente anche Leo Szilard, un fisico di origine ungherese, che si era occupato, sebbene in forma astratta, della possibilità di una reazione a catena. Appena Fermi e Szilard ebbero parlato con Bohr, capirono che la fissione dell'Uranio poteva dar luogo ad una tale reazione ed iniziarono a fare degli esperimenti in merito. Fermi si convinse della possibilità concreta della reazione a catena ed iniziò a progettare la prima pila atomica. Il progetto della pila fu in seguito trasferito a Chicago, dove Fermi lo ultimò. Il 2 Dicembre 1942, la pila iniziò a funzionare: la reazione a catena autosostenuta era realtà e questo segnò l'inizio dell'era atomica. La notizia fu data in codice da Compton (direttore del Dipartimento di Fisica di Chicago) a Conant, presidente del National Defense Research Committee: "Il navigatore italiano è sbarcato nel nuovo mondo". Conant rispose: "I nativi erano amichevoli?" e Compton: "Tutti sono sbarcati salvi e felici". Lo stesso Dicembre il Presidente Roosevelt autorizzò il ben noto Progetto Manhattan. Fermi si trasferì con la famiglia a Los Alamos, dove rimase fino a dopo la fine della guerra.



Figura 1. Fermi all'arrivo a New York il 2 Gennaio 1939 insieme alla moglie Laura ed ai figli Nella e Giulio.  
 Figure 1. Fermi upon arriving in New York on the 2nd of January 1939, with his wife Laura and their children, Nella and Giulio.

Nel gennaio del 1946 Fermi accettò un posto a Chicago, nell' *Institute for Nuclear Studies* (ora *Fermi Institute*), che era stato istituito appositamente per lui con l'offerta di dirigerlo. Fermi però non ne accettò la direzione perché voleva tornare alle sue ricerche ed all'insegnamento. In particolare, si interessò di particelle elementari, astrofisica e di esperimenti di diffusione di pioni sui nuclei al nuovo acceleratore di Chicago. Si dedicò inoltre all'uso degli elaboratori elettronici per ricerche in fisica.

### L'attività di insegnamento

Fermi iniziò l'attività di insegnamento nel 1926 all'Università di Roma, a seguito della sua nomina a Professore Ordinario, grazie alla sua vincita del primo concorso a cattedra di Fisica Teorica in Italia. Nel periodo romano, Fermi fu molto impegnato nella sua attività di ricerca e nella formazione di un gruppo che potesse portare l'Istituto di Fisica di Roma ad assumere un ruolo di primo piano in un ambito internazionale. Probabilmente, a causa di ciò, non sembra che ci siano stati particolari rapporti tra Fermi e gli studenti dei suoi corsi. Per altro, quasi ogni pomeriggio, convocava il suo gruppo, studenti e colleghi, nel suo ufficio, dove teneva una lezione improvvisata. L'argomento era a piacere, potevano essere i presenti o Fermi stesso a sceglierlo. Se aveva bisogno, lo scienziato consultava uno dei suoi libretti di appunti, ma, in genere, non ne aveva bisogno. Partiva dai fatti basilari ed a passo costante procedeva senza esitazioni. Il suo passo poteva essere

it. Fermi was convinced that it was indeed possible to create a chain reaction and began designing the first atomic pile. The pile project was subsequently transferred to Chicago, where Fermi completed it. The pile entered operation on the 2nd of December 1942: the self-sustained chain reaction became a reality, and this marked the beginning of the atomic age. The news was delivered in code by Compton (director of the Physics Department of Chicago) to Conant, president of the National Defense Research Committee: "*The Italian navigator has landed in the New World*". Conant replied: "*Were the natives friendly?*" and Compton came back with: "*Everyone disembarked safe and sound*". That same December, President Roosevelt authorised the famous Manhattan Project. Fermi moved with his family to Los Alamos, where he stayed until the war was over.

In January 1946, Fermi accepted a place in Chicago, at the *Institute for Nuclear Studies* (now the *Fermi Institute*), which had been set up especially for him and for which he had been offered the post of director. Fermi did not accept the office of director, because he wanted to concentrate on his research and teaching. He developed a particular interest in elementary particles, astrophysics and experiments involving the scattering of pions on nucleons at the new accelerator in Chicago. He also worked on the use of computers for physics research.

### His teaching activity

Fermi began teaching in 1926, at the University of Rome, following his appointment as Full Professor, after winning the first competition for the chair of Theoretical Physics in Italy.

più o meno lento a seconda della difficoltà dell'argomento. Ma una volta iniziato manteneva costantemente il suo ritmo. Fermi conservò sempre, anche negli anni americani questa abitudine, sempre le stesse caratteristiche, come viene più volte ricordato dai suoi studenti di Chicago nel volume [Cronin 2004].

L'attività di Fermi alla Columbia University andò dall'inverno del 1939 sino alla primavera del 1942, quando si trasferì a Chicago per continuare il progetto della pila atomica. In quel periodo tenne 12 corsi sugli argomenti più vari: Termodinamica, Meccanica Statistica, Meccanica Quantistica e Geofisica.

A Chicago, tenne un numero impressionante di corsi in entrambi i semestri. A partire dai corsi di Fisica Generale per le matricole, passando poi a corsi di Fisica Nucleare, Elettrodinamica, Meccanica Quantistica, Particelle nucleari e Termodinamica. E questo nell'arco di sette anni scarsi: dall'inverno del 1946 fino alla primavera del 1953.

La sua conoscenza di ogni settore della Fisica era impressionante, anche pensando che, praticamente, era un autodidatta. Infatti, aveva imparato in profondità tutta la Fisica Classica già prima di iscriversi alla Scuola Normale di Pisa, e studiando poi Relatività Generale e Meccanica Quantistica, mentre gli altri studenti seguivano i corsi di Fisica Generale.

Fermi era molto attento nei riguardi dei suoi studenti, tanto che, secondo Friedman (suo studente di Dottorato e futuro premio Nobel): *"I suoi studenti erano la sua famiglia allargata."* Questa sua attenzione si manifestò in maniera particolare nel 1946, quando Harold Agnew, uno studente che era stato con lui alla Columbia e poi a Los Alamos, arrivò a Chicago. A quel tempo c'era una scarsi-

During his time in Rome, Fermi worked very hard on his research activity and on the formation of a group that could lead the Institute of Physics in Rome to take on a leading international role. This is probably the reason why there seems to have been no particular relationship between Fermi and the students of his courses. On the other hand, almost every afternoon, he summoned his group, students and colleagues, to his office, where he would hold an impromptu lecture. The topic could be anything, chosen either by those present or by Fermi himself. Sometimes the scientist would consult one of his notebooks, but this was not usually necessary. He started with the basic facts and proceeded steadily without hesitation. His progress either speeded up or slowed down depending on the difficulty of the subject. But once he started, he kept up a steady pace. This was a habit that always characterised Fermi, even when he moved to America, as his students in Chicago reminded several times in the book [Cronin 2004].

Fermi's work at Columbia University lasted from the winter of 1939 until the spring of 1942, when he moved to Chicago to continue working on the atomic pile project. During his time there he held 12 courses on various subjects: Thermodynamics, Statistical Mechanics, Quantum Mechanics and Geophysics.

In Chicago, he taught an impressive number of classes in both semesters. Starting with General Physics for freshmen, then moving on to Nuclear Physics, Electrodynamics, Quantum Mechanics, Nuclear Particles and Thermodynamics. This was over in a period of seven years: from the winter of 1946 to the spring of 1953.

tà di alloggi e Fermi si offrì di ospitarlo, insieme alla moglie e alla figlia piccola, nella sua casa. L'abitazione di Fermi era alquanto spaziosa ed inoltre, sua moglie Laura era in procinto di partire per l'Italia in visita alle sorelle. Agnew rimase nella casa di Fermi per circa tre mesi e ricorda quel periodo con le seguenti parole: *“Essere parte della sua famiglia per tre mesi fu una esperienza meravigliosa. Fermi preferiva cibo non piccante e diluiva sempre il vino rosso che bevevamo a cena con dell'acqua.”*

Fermi amava la vita sociale e, spesso, organizzava delle serate a casa sua, dove invitava sia colleghi che studenti. Preparava giochi di società ed inoltre si ballava. Lui era particolarmente appassionato della *“square dance”*<sup>1</sup> che aveva imparato dopo averne osservato a lungo i movimenti.

Il grande fisico teneva molto a che i suoi studenti capissero a fondo gli argomenti che insegnava. Se, durante una lezione, uno studente chiedeva maggiori spiegazioni o gli chiedeva di ripetere un argomento, lui era sempre disponibile e felice di accontentare la richiesta. Sempre secondo Friedman: *“Fermi era molto sollecito affinché i suoi studenti capissero la fisica. Con pazienza e buon umore era invariabilmente disposto a spiegare ogni aspetto della fisica che fosse sfuggito alla loro comprensione ed era prontamente disponibile. Mi ricordo che, quando la porta del suo ufficio era aperta, il che succedeva spesso, si poteva sempre entrare per vederlo.”* E poi Friedman continua: *“Le sue presentazioni erano il massimo in termini di chiarezza e il suo leggendario approccio fisico che demistificava i problemi dava spesso l'impressione agli studenti che i risultati fossero ovvi. Ma, in effetti, non erano assolutamente così ovvi, quando cercavamo di riprodurli da soli, per-*

He had an impressive knowledge of every field of Physics, especially when one considers that he was practically self-taught. He had already learned everything there was to know about Classical Physics before enrolling at the Scuola Normale in Pisa, and then studying General Relativity and Quantum Mechanics, while the other students attended General Physics courses.

Fermi was very attentive to his students, so much so that, according to Friedman (his PhD student and future Nobel Prize winner): *“His students were his extended family.”* This attention became particularly evident in 1946, when Harold Agnew, a student who had been with him at Columbia and then in Los Alamos, arrived in Chicago. There was a shortage of housing at the time, so Fermi welcomed him, along with his wife and young daughter, into his home. Fermi's house was rather large, and his wife Laura was about to leave for Italy to visit her sisters. Agnew stayed with Fermi for about three months and remembers that time with the following words: *“Being part of his family for three months was a wonderful experience. Fermi wasn't a fan of spicy food and always diluted the red wine we drank at dinner with water.”*

Fermi had a busy social life and often organised evenings at his home, inviting both colleagues and students. He prepared boardgames and everyone would dance. He was particularly fond of square dancing<sup>1</sup> which he had learned simply by watching other dancers carefully.

The great physicist was anxious for his students to fully understand the subjects he taught. If a student asked for more detailed explanations during a lecture or asked him to repeat something, he was always willing and happy to help. Again, according to Friedman: *“Fermi worked very hard to ensure that his students understood physics. With patience and good humour, he*

*ché non avevamo il potente intuito fisico di Fermi e la sua capacità di semplificare problemi complessi. Tuttavia, tutti cercavamo di emulare l'approccio di Fermi alla risoluzione dei problemi."*

Come abbiamo già osservato, Fermi procedeva a ritmo costante nelle sue spiegazioni, velocemente per argomenti facili e più lentamente per argomenti difficili. A questo proposito possiamo citare un aneddoto raccontato da Luis Alvarez, un fisico sperimentale di Berkeley che ottenne il Nobel nel 1968. In una occasione in cui Fermi stava visitando l'Università di Berkeley, durante il pranzo, chiese ai commensali se ricordassero una certa formula sui raggi X. Nessuno la ricordava e Alvarez si dichiarò disponibile ad andare a cercare un libro in cui trovarla. Ma Fermi disse che non importava perché era in grado di riprodurla. Così davanti ad una lavagna, sempre a passo costante, derivò la formula. La sera, Alvarez provò lui stesso a riprodurre la formula e vide che nei passaggi facili poteva procedere molto più speditamente di quanto non avesse fatto lo scienziato italiano, ma nei passaggi più complicati si rese conto che non sarebbe riuscito ad andare avanti se non avesse seguito la spiegazione che Fermi aveva dato. In effetti Fermi era in grado di riprodurre qualunque argomento importante di fisica senza far ricorso ai libri di testo. A testimonianza di ciò quando, dopo la sua morte, furono raccolti per l'archiviazione i documenti presenti nel suo ufficio, furono trovati solo tre libri di testo. Un altro aneddoto raccontato da Goldberg (un altro suo studente di dottorato) su questo stesso stile, riguarda la sua richiesta a Fermi di spiegargli il "teorema adiabatico", un argomento alquanto esoterico sul quale il grande fisico aveva lavorato una ventina di anni prima. Fermi andò alla lavagna e dette la

*was invariably willing to explain every aspect of physics that had escaped their understanding and was always available. I remember that, when his office door was open, which was often the case, you could always go in to see him." Friedman continues: "His presentations were flawless in terms of clarity and his legendary physical approach, which demystified problems, often gave students the impression that the results were obvious. Nothing could have been further from the truth. They were anything but obvious when we tried to reproduce them alone, because we didn't have Fermi's powerful physical intuition and his ability to simplify complex problems. Nevertheless, we all tried to emulate Fermi's approach to problem-solving."*

As we have already seen, Fermi proceeded with his explanations at a steady pace, fast for easy topics and slower for those that were more complex. On this point, we can mention an anecdote from Luis Alvarez, an experimental physicist from Berkeley who won the Nobel Prize in 1968. On one occasion, when Fermi was visiting Berkeley University during lunch, he asked those who were eating if they remembered a certain formula in relation to X-rays. No one could remember it and Alvarez declared himself willing to go and look for a book in which to find it. But Fermi said it didn't matter because he was able to reproduce it. So, in front of a blackboard, at his usually a steady pace, he worked out the formula. That evening, Alvarez tried to reproduce the formula himself and saw that he was able to complete the easy steps much quicker than the Italian scientist had done. As far as the more complicated stages were concerned, however, he realised that he would have been unable to continue without following Fermi's explanation. Fermi had the ability to reproduce any important physics-relat-

dimostrazione del teorema con una brillante esposizione di circa mezz'ora. Successivamente Goldberg trovò l'articolo originale di Fermi e scoprì con sorpresa che la dimostrazione che Fermi aveva fatto alla lavagna ripeteva linea per linea il contenuto dell'articolo.

L'attrazione che Fermi esercitava rese il Dipartimento di Fisica di Chicago il miglior Dipartimento di tutti gli Stati Uniti se non di tutto il mondo. Gli studenti di fisica più bravi cercavano di andare a Chicago per studiare con Fermi. Inoltre, importanti fisici di tutto il mondo andavano a Chicago per poter parlare con il grande fisico. Negli anni 50 l'Istituto di Fisica Nucleare contava ben 34 fisici senior. A più riprese avevano fatto parte dell'Istituto personalità come Chandrasekhar, premio Nobel nel 1983, Mayer e sua moglie Maria Goppert-Mayer, premio Nobel nel 1963, Mulliken, Simpson, Teller, Urey, Nobel nel 1934, Gell-Mann, premio Nobel nel 1969, Zachariasen e Wentzel.

Anche a Chicago Fermi tenne un numero impressionante di corsi. Dalla sessione invernale del 1946 sino alla sessione primaverile del 1953<sup>2</sup>, tenne ben 23 corsi a partire dalla Struttura Nucleare fino alle Particelle Nucleari, passando attraverso l'Elettrodinamica, la Meccanica Quantistica, la Termodinamica, la Fisica Matematica e, ancora, Problemi Particolari in Fisica, Ricerca in Fisica per finire con la Fisica Generale. Come si vede, l'amore di Fermi per l'insegnamento era tale da non disdegnare i corsi del primo anno di Fisica, quale la Fisica Generale.

Ebbe una quindicina di studenti di Dottorato, tra cui 4 Premi Nobel: Steinberger, Chamberlain, Lee e Friedman. Altri due studenti che non ebbero Fermi come relatore, ma che seguirono i suoi corsi e che da lui furono ispirati, conseguirono

ed subject without resorting to textbooks. For instance, when Fermi died and the documents in his office were collected for archiving, only three textbooks were found. Another, similar, anecdote reported by Goldberg (another of Fermi's PhD students) concerns his asking Fermi to explain the "adiabatic theorem", a rather esoteric subject on which the great physicist had worked about twenty years earlier. Fermi went to the blackboard and demonstrated the theorem with a brilliant 30-minute explanation. Goldberg later found Fermi's original article and discovered, to his surprise, that Fermi's demonstration on the blackboard repeated the content of the article line by line.

The attraction that Fermi exercised made the Chicago Physics Department the finest department in the United States if not the whole world. The best physics students tried to go to Chicago to study with Fermi. And important physicists from all over the world went to Chicago so that they could talk to the great physicist. In the 1950s, the Institute of Nuclear Physics had 34 senior physicists. On several occasions, personalities such as Chandrasekhar, Nobel Prize winner in 1983, Mayer and his wife Maria Goppert-Mayer, Nobel Prize winner in 1963, Mulliken, Simpson, Teller and Urey, Nobel Prizes winner in 1934, Gell-Mann, Nobel Prize winners in 1969, Zachariasen and Wentzel were members of the Institute at some time.

Fermi held an impressive number of courses in Chicago too. From the winter session of 1946 until the spring session of 1953<sup>2</sup>, he held 23 courses ranging from Nuclear Structure to Nuclear Particles, via Electrodynamics, Quantum Mechanics, Thermodynamics and Mathematical Physics, as well as Particle Problems in Physics, Research in Physics and, last but not least,

il Nobel: Yang e Cronin. Altri ebbero posizioni di rilievo nella fisica americana e Goldberg e Garwin furono consiglieri scientifici del governo americano.

Fermi fu sempre molto generoso e comprensivo nei confronti dei suoi studenti. Per esempio, accolse Steinberger come studente di dottorato nonostante avesse fallito l'esame di qualificazione, che superò poi in un secondo tempo. Accolse anche T.D.Lee, che proveniva dalla Cina e che aveva seguito solo due anni di corso di laurea in Fisica e ancora non aveva completato il ciclo di studi.

Ma Fermi voleva anche che i suoi studenti, da un certo punto in poi, crescessero in maniera autonoma, in particolare a livello della tesi di dottorato. A questo riguardo c'è un interessante ricordo di Steinberger: *“Il fatto più interessante di Fermi come relatore della tesi di dottorato è che...mi ha lasciato fare le mie cose, senza partecipare o suggerire il progetto. Mi ha aiutato a fare le cose, come trovare i macchinisti per costruire i contatori Geiger e un camion con un giovane per guidarlo (io non sapevo guidare) per portare l'esperimento sulla cima di una montagna in Colorado.”*

Fermi non era solo gentile e premuroso verso gli studenti ma aveva atteggiamenti analoghi nei confronti dei colleghi verso i quali era prodigo di consigli e suggerimenti. È noto che verso la fine del 1949, parlando con Maria Goppert-Mayer, che stava studiando il modello a shell per i nuclei ed aveva difficoltà a far accordare la teoria con i dati sperimentali, le suggerì di introdurre l'interazione spin-orbita tra le particelle che compongono il nucleo. Questa interazione tiene conto degli effetti del moto di spin delle particelle con il loro moto orbitale. La Goppert-Mayer realizzò immediatamente che questo avrebbe risolto i suoi problemi. L'articolo che

General Physics. As one can see, Fermi's love for teaching was so great that he was even willing to teach the courses of the first year of Physics, such as General Physics.

He had about fifteen PhD students, including four Nobel Prize winners: Steinberger, Chamberlain, Lee and Friedman. Two other students who did not have Fermi as advisor, but who followed his courses and were inspired by him, also won the Nobel Prize: Yang and Cronin. Others held important positions in American physics and Goldberg and Garwin were scientific advisors to the American government.

Fermi was always very generous and understanding towards his students. For example, he accepted Steinberger as a PhD student despite the fact that he had failed the qualifying examination, which he later passed. He also accepted T.D. Lee, who came from China and who had followed only two years of his Physics degree course and had not yet completed his studies.

But Fermi also wanted his students, from a certain point onwards, to grow up independently, particularly when it came to their PhD dissertations. Steinberger has an interesting memory of this: *“The most interesting thing about Fermi as PhD thesis supervisor is that...he let me do my own thing, without participating or suggesting the project. He helped me do things like finding the machinists to build the Geiger counters and a truck with a young driver (I didn't know how to drive) to take the experiment to the top of a mountain in Colorado.”*

Not only was Fermi kind and caring towards his students, he had similar attitudes towards his colleagues, offering them a wealth of advice and suggestions. We know that, towards the end of 1949, speaking with Maria Goppert-Mayer, who was studying the shell model for nu-

lei scrisse sull'argomento le fruttò il premio Nobel. La Goppert-Mayer insistette molto con Fermi perché firmasse l'articolo congiuntamente con lei. Fermi declinò l'invito in quanto, data la sua reputazione, con molta probabilità il merito dell'articolo sarebbe stato attribuito completamente a lui. La Goppert-Mayer lo ringraziò anche nel discorso che tenne per la cerimonia di conferimento del Nobel. Un altro episodio interessante, raccontato da un altro studente di Fermi, Richard Garwin, riguarda Frederick Reines che nel 1950 domandò a Fermi se, visti i numerosi test atomici, non fosse il caso di mettere un rivelatore immediatamente sottoterra per rivelare sperimentalmente i neutrini, che ancora non erano stati rivelati. Fermi osservò che meglio di una bomba atomica, che brucia circa un chilo di Uranio, sarebbe stato meglio usare un reattore nucleare che brucia diversi chili di Uranio al giorno. Cowan e Reines rivelarono per la prima volta i neutrini nel 1956 al reattore nucleare di Savannah River ed ottennero il premio Nobel nel 1995.

### Fermi ed i Premi Nobel

In questa Sezione daremo un breve profilo degli studenti di Fermi vincitori di un premio Nobel e di quelli che pur non essendo stati suoi studenti hanno seguito i suoi corsi e ne sono stati ispirati:

**Emilio Gino Segré (1905-1989)** era uno studente di Ingegneria a Roma, quando fu reclutato da Corbino per far parte del gruppo di Fermi, di cui fu il primo

clei and was having difficulty in matching the theory with the experimental data, he suggested that she introduce the spin-orbit interaction between the particles that make up the nucleus. This interaction considers the effects of the spin motion of the particles with their orbital motion. Goppert-Mayer immediately realised that this would solve her problems. The article she wrote on the subject earned her the Nobel Prize. Goppert-Mayer insisted that Fermi sign the article together with her. Fermi declined the invitation because, given his reputation, it was highly likely that he would be given all the credit for the article. Goppert-Mayer also thanked him during her speech at the Nobel Prize ceremony. Another interesting episode, recounted by another of Fermi's students, Richard Garwin, concerns Frederick Reines who, in 1950, asked Fermi if, given the numerous atomic tests that had been carried out, whether it would not be appropriate to put a detector immediately underground to experimentally discover neutrinos, which had not yet been discovered. Fermi pointed out that, rather than an atomic bomb, which burns about a kilo of Uranium, it would be better to use a nuclear reactor, which burns several kilos of Uranium per day. Cowan and Reines discovered neutrinos in 1956 at the Savannah River nuclear reactor and were awarded the Nobel Prize in 1995.

### Fermi and the Nobel Prizes

In this section, we are going to present a short profile of Fermi's Nobel Prize-winning students and of those who, despite not being his students, followed his courses and were inspired by him:



Figura 2. Fermi e Maria Goppert-Mayer.

Figure 2. Fermi and Maria Goppert-Mayer.

Emilio Gino Segré (1905-1989) was an engineering student in Rome when he was recruited by Corbino to join the Fermi group, of which he was the first student. He was visiting Berkeley in 1938 when the racial laws were issued and decided not to return to Italy, remaining at that University until his death. In 1959, he was awarded the Nobel Prize, jointly with Chamberlain, for the discovery of the antiproton made in 1955.

Owen Chamberlain (1920 – 2006) He began his studies in Physics at the University of California but interrupted them in 1942 to join the Manhattan Project where he worked under the direction of Segré. He resumed his studies in Chicago in 1946, with Fermi as supervisor. Chamberlain remembers his first meeting with Fermi like this: *“My first meeting with Fermi was remarkably understated. I was looking for Segré and found him in a small shop... As I turned to leave, Segré said, “Oh, Chamberlain, I’d like you to meet Fermi.” My jaw dropped. I knew what a Nobel Prize winner looked like and Ernest Lawrence fit the role perfectly: big, with a voice that echoed around the room. And here was this little man sitting motionless in the corner”* He won the Nobel Prize with Segré for the discovery of the antiproton.

Hans Jakob Steinberger (1921) was born in Bad Kissingen in Bavaria, but left Germany at the age of 13, following growing anti-Semitism. He studied with Fermi and remembered that time like this: *“There was a wonderful atmosphere at the University of Chicago among both professors and students. The professors to whom I owe my greatest gratitude are Enrico Fer-*

studente. Nel 1938, quando furono emanate le leggi razziali, era in visita a Berkeley, decise di non tornare in Italia e rimase in quella Università sino alla sua morte. Nel 1959 ottenne il premio Nobel, congiuntamente con Chamberlain, per la scoperta dell'antiprotone fatta nel 1955.

**Owen Chamberlain** (1920-2006) iniziò gli studi in Fisica all'Università di California, ma li interruppe nel 1942 per far parte del Progetto Manhattan dove lavorò sotto la direzione di Segré. Nel 1946 riprese gli studi a Chicago con Fermi come supervisore. Così Chamberlain ricorda il suo primo incontro con Fermi: *“Il mio primo incontro con Fermi fu notevole per il suo basso tono. Stavo cercando Segré e lo trovai in un piccolo negozio...Mentre mi voltavo per andarmene Segré disse: “Oh, Chamberlain, voglio che tu incontri Fermi.” La mia bocca si spalancò. Sapevo che aspetto aveva un vincitore del Premio Nobel ed Ernest Lawrence si adattava perfettamente al ruolo: grande, con una voce che echeggiava nella stanza. E qui era questo piccolo uomo seduto immobile nell'angolo...”* Ha vinto il Nobel con Segré per la scoperta dell'antiprotone.

**Hans Jakob Steinberger** (1921) nacque a Bad Kissingen in Baviera, ma lasciò la Germania all'età di 13 anni, in seguito al crescente antisemitismo. Studiò con Fermi e ricordò così quel periodo: *“All'Università di Chicago c'era un'atmosfera*

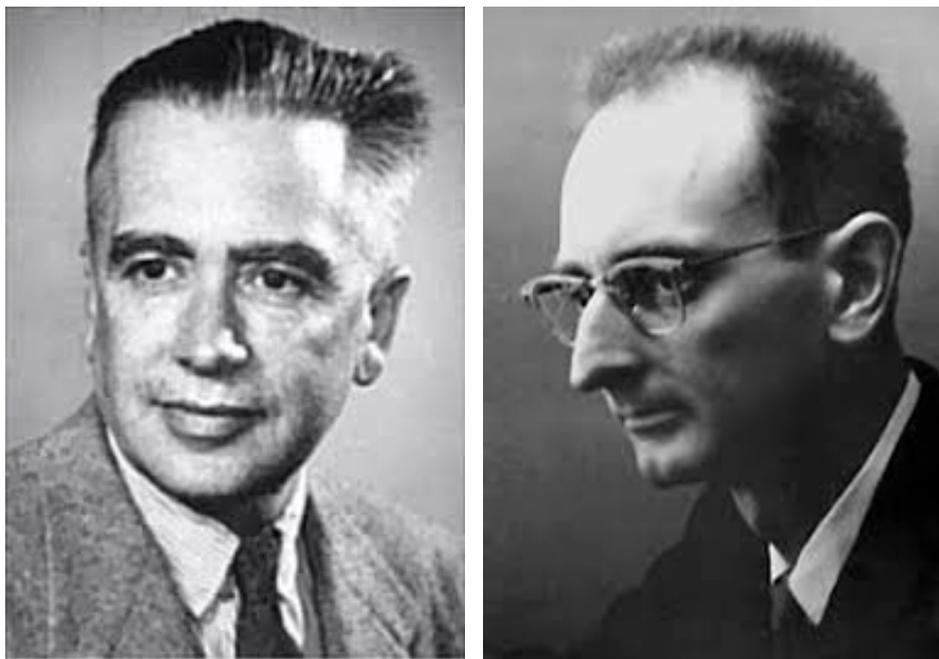


Figura 3. Da sinistra a destra, Emilio Gino Segré e Owen Chamberlain, scopritori dell'antiprotone.

Figure 3. Left to right, Emilio Gino Segré and Owen Chamberlain, who discovered the antiproton.

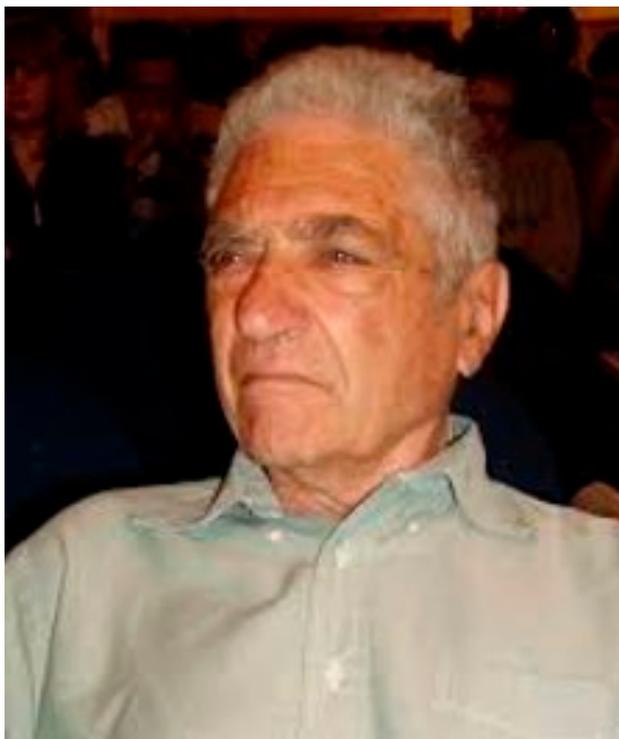


Figure 4. “Jack” Steinberger, Nobel nel 1988 per la scoperta del neutrino muonico.

Figure 4. “Jack” Steinberger, Nobel Prize winner in 1988 for the discovery of the muon neutrino.

*mi, William Zachariasen, Edward Teller and Gregor Wentzel. Fermi’s courses were jewels of simplicity and clarity: he made an enormous effort to help us become good physicists, going beyond the work we did in the classroom, organising evening discussions on a wide range of subjects and showing us how to solve problems.” He won the Nobel Prize in 1988 for the discovery of the muonic neutrino.*

Jerome Isaac Friedman (1930) was Fermi’s last PhD student. He joined the Chicago Physics Department in 1950 and began his PhD with Fermi in 1953. When Fermi died in 1954, his PhD dissertation was signed by John Marshall, one of Fermi’s assistants. Friedman recalled Fermi’s return from his visit to Italy following his illness: “Chandrasekhar and Herb Anderson were the first to visit Fermi in the hospital and were initially lost for words. Fermi realised this and put them at ease asking: “So Chandra, when I die will I come back as an elephant?”. Friedman won the Nobel Prize in 1990 for his experiments with electron scattering on protons, which confirmed the quark model.

Tsung-Dao Lee (1926) was born in Shanghai, China, where he studied until the second year of his degree course in Physics. He received a Chinese scholarship to continue his studies in the United States. He was one of Fermi’s PhD students in Chicago. He won the Nobel Prize in 1957 for the fundamental discovery of the violation of parity in weak interactions. He shared the Nobel Prize with “Frank” Yang. According to Lee: “*The relationship between*



Figura 5. Jerome Isaac Friedman, Nobel Prize winner in 1990 for scattering experiments of electrons on protons.  
 Figure 5. Jerome Isaac Friedman, Nobel Prize winner in 1990 for scattering experiments of electrons on protons.

*meravigliosa sia tra i professori che tra gli studenti. I professori a cui devo la mia più grande gratitudine sono Enrico Fermi, William Zachariasen, Edward Teller e Gregor Wentzel. I corsi di Fermi erano gemme di semplicità e chiarezza: lui faceva un grande sforzo per aiutarci a diventare buoni fisici anche al di là del lavoro fatto in classe, organizzando discussioni serali su una grande varietà di argomenti e mostrandoci come risolvere i problemi.”* Ottenne il premio Nobel nel 1988 per la scoperta del neutrino muonico.

*Fermi and his students was very personal. I saw him regularly, about once a week. We used to have lunch together, often with the other students. Afterwards, Fermi and I would spend the whole afternoon talking.”*

Chen Ning Yang (1922) was born in Hofei, China, where he studied physics until he graduated. In January 1946, he moved to Chicago on a scholarship from Tsinghua University, lured by Fermi's fame. He received his PhD under Teller's supervision but was also close to Fermi during his career. Yang has described Fermi like this: *“Enrico Fermi was one of the most respected and admired of all the great 20th century physicists. He was respected and admired for his contribution to both theoretical and experimental physics, for his leadership in discovering a powerful new source of energy for humanity and, above all, for his personality: he was always reliable and trustworthy. He had both feet firmly on the ground all the time. He possessed great strength but didn't impose it. He didn't like to show off... I always think that he embodied the perfect Confucian gentleman.”* He won the Nobel Prize with T.D. Lee for his discovery of the violation of parity in weak interactions.

James Watson Cronin (1931 – 2016) Born in Chicago, he studied at Southern Methodist University. He came to the University of Chicago in 1951. His teachers were Fermi, Goppert-Mayer, Teller and Wentzel, Telegdi, Goldberger and Gell-Mann. The supervisor of his PhD dissertation was Anderson, a former student of Fermi. He was the organiser of the conference held in

**Jerome Isaac Friedman** (1930) è stato l'ultimo studente di dottorato di Fermi. Entrò nel Dipartimento di Fisica di Chicago nel 1950, nel 1953 iniziò il periodo di dottorato con Fermi ma, dato che Fermi morì nel 1954, la sua tesi di dottorato fu firmata da John Marshall, un assistente di Fermi. Friedman ha ricordato il ritorno di Fermi dalla sua visita in Italia a seguito della sua malattia: “*Chandrasekhar e Herb Anderson furono i primi a visitare Fermi in ospedale e all'inizio non trovavano parole, Fermi se ne rese conto e li mise a loro agio chiedendo: “Dimmi Chandra, quando morirò tornerò indietro come un elefante?”*”. Friedman ha vinto il premio Nobel nel 1990 per i suoi esperimenti di diffusione di elettroni su protoni che sono serviti a confermare il modello a quark.

**Tsung-Dao Lee** (1926) è nato a Shanghai, in Cina, dove ha studiato sino al secondo anno del corso di laurea in Fisica. Ha ricevuto una borsa di studio cinese per continuare i suoi studi negli Stati Uniti. A Chicago è stato studente di dottorato di Fermi. Ha vinto il Nobel nel 1957 per la fondamentale scoperta della violazione della parità nelle interazioni deboli. Nobel condiviso con “Franck” Yang. Secondo Lee: “*La relazione tra Fermi e i suoi studenti era molto personale. Io lo vedevo regolarmente, circa una volta a settimana. Usualmente pranzavamo assieme, spesso anche con gli altri studenti. Dopo, io e Fermi passavamo l'intero pomeriggio discutendo.*”

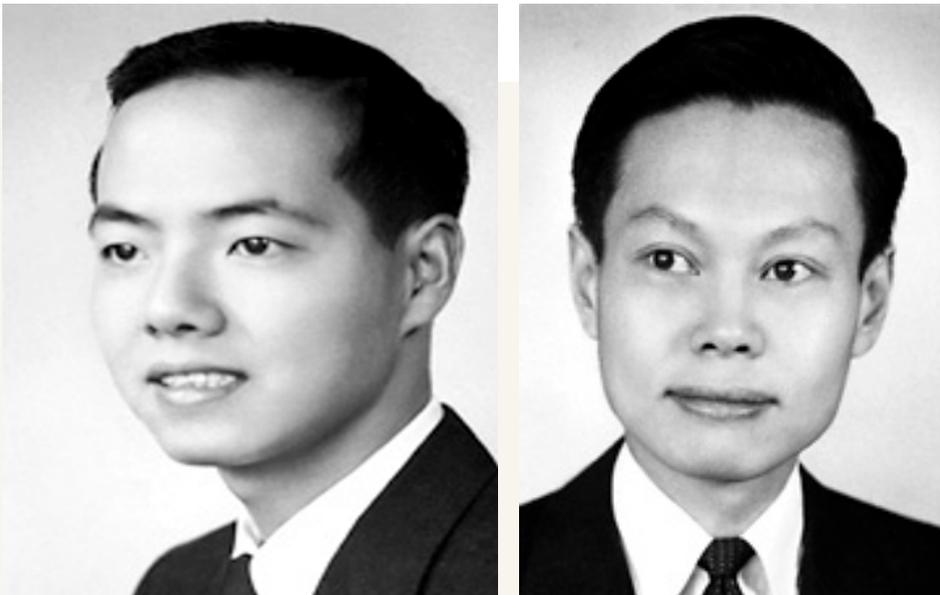


Figura 6. Da sinistra a destra, T.D. Lee and F. Yang. Premi Nobel nel 1957 per la scoperta della violazione della parità nelle interazioni deboli.

Figure 6. Left to right, T.D. Lee and F. Yang. Nobel Prize winners in 1957 for the discovery of the violation of parity in weak interactions.

**Chen Ning Yang** (1922) è nato a Hofei, in Cina, dove ha fatto i suoi studi in fisica fino alla laurea. Nel Gennaio del 1946 si è trasferito a Chicago con una borsa di studio della Università di Tsinghua, attirato dalla fama di Fermi. Ha conseguito il dottorato sotto la supervisione di Teller, ma è stato vicino a Fermi anche nel seguito della sua carriera. Yang ha così descritto Fermi: *“Enrico Fermi fu, tra tutti i grandi fisici del ventesimo secolo, tra i più rispettati e ammirati. Era rispettato e ammirato per il suo contributo alla fisica sia teorica che sperimentale, per la sua leadership nello scoprire per l’umanità una nuova potente fonte di energia e, soprattutto, per il suo carattere personale: era sempre affidabile e degno di fiducia. Aveva entrambi i piedi per terra tutto il tempo. Aveva una grande forza, ma non la faceva pesare. Non amava mettersi in mostra... Ha esemplificato, credo sempre, il perfetto gentiluomo confuciano.”* Ha vinto il Nobel con T.D. Lee per la scoperta della violazione della parità nelle interazioni deboli.

**James Watson Cronin** (1931-2016) Nato a Chicago, ha studiato alla Southern Methodist University. È entrato alla Università di Chicago nel 1951. Suoi insegnanti furono Fermi, la Goppert-Mayer, Teller e Wentzel, Telegdi, Goldberger e Gell-Mann. Il supervisore della sua tesi di dottorato è stato Anderson, un ex studente di Fermi. È stato l’organizzatore della conferenza tenuta a Chicago nel 2001 per onorare il centenario della nascita di Fermi. Il suo ricordo di Fermi insegnante: *“Sono arrivato all’Università di Chicago per gli studi universitari nel 1951, e sono stato molto fortunato a frequentare molte lezioni tenute da Enrico Fermi. Fermi era davvero un grande insegnante, ma aveva anche un modo per assicurarsi che si*

Chicago in 2001 to honour the centenary of Fermi’s birth. His memory of Fermi as a teacher: *“I came to the University of Chicago to study in 1951 and was fortunate enough to be able to attend numerous lectures given by Enrico Fermi. Fermi was a really great teacher and he had a way of making sure that you understood what he was saying. At the end of each lecture, he would orally assign us problem that we had to solve and hand in at the next lecture. They were then carefully assessed by a PhD student.”* Cronin won the Nobel Prize in 1980 for the discovery of the violation of CP symmetry (conjugation of charge and parity) in the decay of K mesons.

## Conclusions

Fermi had a huge influence on physics, both from a scientific point of view and in terms of teaching. Sociologist Harriet Zuckerman, who has studied the influence had by Nobel prize-winning Americans on future winners, has come to the conclusion that, in this sense, Fermi represents a unique case in the United States, and possibly even worldwide.

We want to close with a memory of the last days of Fermi’s life by Gell-Mann. When the great physicist was dying in hospital in Chicago, Gell-Mann and Yang went to visit him and Gell-Mann remembers: *“While Yang and I were at his bedside, Enrico urged us not to be too sad and said: “It’s not so bad”. A few years ago, Frank [Yang] reminded me of Enrico’s words to us as we left him, never to see him again:”*

*Now it is up to you.*

*capisse la lezione. Alla fine di ogni lezione, assegnava oralmente un problema che doveva essere risolto e consegnato alla lezione successiva. Questi erano poi attentamente valutati da uno studente di dottorato.*” Cronin ha vinto il premio Nobel nel 1980 per la scoperta della violazione della simmetria CP (coniugazione di carica e parità) nel decadimento dei mesoni K.

## Conclusioni

L'influenza di Fermi nella fisica è stata enorme, sia dal punto di vista scientifico che di insegnamento della fisica. La sociologa Harriet Zuckerman, che ha studiato l'influenza che gli americani vincitori del premio Nobel hanno esercitato sui futuri vincitori, è arrivata alla conclusione che Fermi rappresenta, in questo rispetto, un caso unico negli Stati Uniti, ma forse in tutto il mondo.

Vogliamo chiudere con un ricordo di Gell-Mann degli ultimi giorni di vita di Fermi. Quando il grande fisico era ormai morente in ospedale a Chicago, Gell-Mann e Yang si recarono a visitarlo e Gell-Mann ricorda: *“Mentre io e Yang eravamo al lato del suo letto, Enrico ci esortava a non essere troppo tristi e ci diceva: “Non è così brutto.” Frank [Yang] mi ha ricordato alcuni anni fa delle parole che Enrico ci disse mentre lo lasciavamo, per non rivederlo mai più.”*

*Now it is up to you.*



Figura 7. James Watson Cronin, Nobel nel 1980 per la scoperta della violazione di CP nel decadimento dei mesoni K.

Figure 7. James Watson Cronin, Nobel Prize winner in 1980, for the discovery of the violation of CP in the decay of K mesons.

**Roberto Casalbuoni** è professore emerito di Fisica Teorica presso l'Università di Firenze. Ha svolto numerosi incarichi di direzione nell'INFN e nell'Università di Firenze.

I suoi interessi di ricerca sono nella Fisica delle Particelle Elementari. Ha collaborato con numerose istituzioni straniere, quali il CERN di Ginevra, il Laboratorio DESY di Amburgo, la Johns Hopkins Università di Baltimora e l'Università di Ginevra.

Il presente articolo deriva da una conferenza tenuta presso l'Istituto di Cultura Italiana a Stoccolma il 5 Dicembre 2019, con il titolo: "*After Fermi's Nobel: Towards Chicago, Fermi's Students and their Nobel Prizes*". Le fonti su cui si basa sono: [Cronin 2004], [Maltese 2003] e [Schwartz 2017]

## Bibliografia

[Cronin 2004] "Fermi Remembered", edited by J.W. Cronin, The Chicago University Press, Chicago 2004.

[Maltese 2003] "Enrico Fermi in America", G. Maltese, Zanichelli, Bologna 2003.

[Schwartz 2017] "Enrico Fermi. L'ultimo uomo che sapeva tutto", D. Schwartz, Solferino, Milano 2018.

Roberto Casalbuoni is Professor Emeritus of Theoretical Physics at the University of Florence. He has held numerous senior posts at the INFN and the University of Florence.

His research focuses on Elementary Particle Physics. He has worked with numerous foreign institutions, such as the CERN in Geneva, the DESY Laboratory in Hamburg, the Johns Hopkins University of Baltimore and the University of Geneva.

This article is taken from a conference held at the Institute of Italian Culture in Stockholm on 5 December 2019, entitled: "*After Fermi's Nobel: Towards Chicago, Fermi's Students and their Nobel Prizes*".

The sources are [Cronin 2004], [Maltese 2003] and [Schwartz 2017]

## Bibliography

[Cronin 2004] "Fermi Remembered", edited by J.W. Cronin, The Chicago University Press, Chicago 2004.

[Maltese 2003] "Enrico Fermi in America", G. Maltese, Zanichelli, Bologna 2003.

[Schwartz 2017] "Enrico Fermi. L'ultimo uomo che sapeva tutto", D. Schwartz, Solferino, Milan 2018.

## Note

<sup>1</sup> Nella square dance quattro coppie si dispongono sui quattro lati di un quadrato ideale ed eseguono dei passi di danza comandato da un maestro delle danze.

<sup>2</sup> Nel 1954, ultimo anno della sua vita, andò in congedo.

## Notes

<sup>1</sup> In the square dance, four couples stand on four sides of an ideal square and perform dance steps to the instructions of a dance master.

<sup>2</sup> He took leave in 1954, the last year of his life.