

Giulio Peruzzi

Bruno Benedetto Rossi. Dal Colle di Galileo al MIT

Bruno Benedetto Rossi. From Galileo's Hill to MIT

Università di Padova

Sommario. Nato a Venezia nel 1905, Bruno Rossi è considerato unanimemente uno dei giganti della fisica e dell'astrofisica del XX secolo. Egli si formò e iniziò la sua carriera scientifica tra Firenze e Padova, ma fu costretto ad abbandonare il suo Paese nel 1938. Dopo un breve periodo trascorso prima a Copenhagen e poi a Manchester, Rossi andò negli Stati Uniti. Qui fu tra i protagonisti del cosiddetto "Progetto Manhattan" che portò alla realizzazione della prima bomba atomica. Nel 1946 fu infine chiamato al M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), dove rimase per il resto della sua vita. Ripercorreremo qui la sua biografia scientifica iniziata sul Colle di Galileo, "dove - come scrive Rossi - nacqui e crebbi come scienziato" (Rossi, 1987, p. 2). E il suo legame con Firenze e Arcetri è attestato anche dal fatto che, dopo la sua morte a Cambridge, Massachusetts, nel 1993, venne sepolto al Cimitero delle Porte Sante a San Miniato al Monte.

Parole chiave. Bruno Rossi, raggi cosmici, astrofisica, storia della fisica delle alte energie

Firenze, 1928-1932

Dopo aver seguito i primi due anni universitari a Padova, Rossi passa a Bologna dove si laurea nel 1927. Su suggerimento di Rita Brunetti, inizia la sua carriera

Abstract. Born in Venice in 1905, Bruno Rossi is unanimously considered one of the most brilliant minds of physics and astrophysics of the twentieth century. He was educated and began his scientific career between Florence and Padua, but he was forced to leave Italy in 1938. After short periods, first in Copenhagen and then in Manchester, Rossi went to the United States. Here he played a pivotal role in what was known as the "Manhattan Project", which led to the creation of the first atomic bomb. In 1946 he was recruited to M.I.T. (the Massachusetts Institute of Technology), where he remained for the rest of his life. Here we retrace his scientific career, which began on Galileo's Hill where - as Rossi himself wrote - "I was born as a physicist" (Rossi, 1990, p. 2). His deep bond with Florence and Arcetri is further confirmed by the fact that, after his death in Cambridge, Massachusetts, in 1993, he was buried in the Cemetery of the Porte Sante at San Miniato al Monte.

Keywords. Bruno Rossi, cosmic rays, astrophysics, history of high-energy physics

accademica nel 1928 all'Università di Firenze, come assistente alla cattedra di fisica sperimentale, collaborando con un gruppo di fisici di cui ricorderà per tutta la vita il valore scientifico e l'amicizia. Citiamo tra questi Gilberto Bernardini, Giulio Racah, Daria Bocciarelli, Lorenzo Emo Capodilista, Guglielmo Righini e Giuseppe Occhialini (Rossi, 1987, pp. 5-6).

A quel tempo la fisica conosceva un periodo di grande fermento. Ancora nei primi anni 1920 si era convinti che i costituenti ultimi della materia fossero solo l'elettrone e il protone, e faticosamente si era affermata l'idea dell'esistenza del quanto del campo elettromagnetico, il fotone. Tuttavia subito dopo la formulazione della meccanica quantistica (1925-26), i fisici si trovavano costretti a rivedere le loro idee sulla costituzione della materia e sul numero e la natura delle interazioni fondamentali: lo scenario teorico e le nuove evidenze sperimentali sembravano indicare la necessità di cambiamenti profondi. Un ruolo cruciale in questi sviluppi venne svolto dalla scoperta di Franz Hess che, tra il 1911 e il 1912, aveva messo in evidenza l'esistenza di una nuova sorgente extra-terrestre di radiazioni, chiamata nel 1925 da Robert Millikan "raggi cosmici", nome ancora oggi in uso.

Per diversi anni si pensò semplicemente che i raggi cosmici primari¹ fossero raggi γ , ossia fotoni di alta energia, la radiazione più penetrante conosciuta all'epoca, ma nel 1929 un esperimento svolto da Walther Bothe e Werner Kohlhörster aprì prospettive totalmente nuove sulla loro natura. I due fisici tedeschi osservarono le particelle ionizzanti presenti nella radiazione cosmica e ne studiarono il potere di penetrazione. Scoprirono che la maggior parte di queste particelle attraversavano uno schermo d'oro di 4,1 cm di spessore, dimostrandosi quindi

Florence, 1928-1932

After studying for two years at the University of Padua, Rossi then moved to Bologna, where he graduated in 1927. On the suggestion of Rita Brunetti, he began his academic career in 1928 at the University of Florence as assistant professor of experimental physics, working with a group of physicists whose scientific worth and friendship he was to remember for the rest of his life. Among them we can mention Gilberto Bernardini, Giulio Racah, Daria Bocciarelli, Lorenzo Emo Capodilista, Guglielmo Righini and Giuseppe Occhialini (Rossi, 1990, pp. 4-5).

This was an extremely revolutionary period for physics. In the early 1920s there had still been a staunch conviction that the ultimate constituents of matter were restricted to the electron and the proton, and only with great difficulty did the notion gain ground of the existence of the quantum of the electromagnetic field, the photon. Despite this, immediately after the formulation of quantum mechanics (1925-26), the physicists found themselves forced to review their ideas about the constitution of matter and the number and nature of fundamental interactions: the theoretical scenario and the new experimental evidence appeared to indicate the need for radical changes. A crucial role in these developments was played by the discovery of Franz Hess who, between 1911 and 1912, had brought to light the existence of a new extraterrestrial source of radiation; in 1925 Robert Millikan coined the term by which this radiation is still known today: "cosmic rays".



Figura 1. Pasto nella portineria dell'Istituto ad Arcetri, "dove, per una modesta somma, la moglie del portiere ci sfamava con grandi piatti di pasta" (Rossi, 1987, p. 6). Da sinistra: Lorenzo Emo Capodilista, Beatrice Crinò, Gilberto Bernardini, Attilio Colacevich, Daria Bocciarelli (riprodotto da B. Rossi, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987).

Figure 1. At lunch at the Institute at Arcetri, "where, for a few lire the janitor's wife would satisfy our hunger with generous servings of spaghetti" (Rossi, 1990, p. 5). From left: Lorenzo Emo Capodilista, Beatrice Crinò, Gilberto Bernardini, Attilio Colacevich and Daria Bocciarelli (reproduced from B. Rossi, *Moments in the Life of a Scientist*, Cambridge University Press, New York 1990).

For some years it was believed that the primary cosmic rays¹ were simply γ rays, that is, high-energy photons, the most penetrating radiation known at the time. But then, in 1929, an experiment carried out by Walther Bothe and Werner Kohlhörster opened up totally new prospects about their nature. The two German physicists observed the ionizing particles present in cosmic radiation and studied their power of penetration. They discovered that most of these particles can pass through a block of gold 4.1 cm thick, thus showing themselves to be vastly more penetrating than the secondary particles that can be produced by γ radiation. To perform this experiment the use of what were known as "Geiger counters" or "Geiger-Müller" counters was fundamental. These instruments, already proposed in 1908 by Hans Geiger and Ernest Rutherford and perfected in 1928 by Geiger and Walther Müller, were based on the ionizing power of charged particles, and made it possible to reveal and count the particles one by one using electrical methods. The counters consisted of a long conducting tube with a metal wire stretched along the axis. A tension of several hundred volts was applied between the tube and the wire, insufficient in itself to trigger a spark in the low-pressure gas with which the instrument was filled. However when the gas was crossed by a charged particle that ionized it, this would produce an electric discharge inside the tube which was registered by an electrometer. This type of counter came to be very widely used and played a crucial role in the study of cosmic rays.

The Bothe and Kohlhörster experiment triggered an extremely lively debate about cosmic rays and opened up a controversy about their nature: were they, as Robert Millikan maintained,

enormemente più penetranti delle particelle secondarie che possono essere prodotte dalla radiazione γ . Per svolgere l'esperimento, fu determinante l'impiego dei cosiddetti "contatori Geiger" o "Geiger- Müller". Tali strumenti, già proposti nel 1908 da Hans Geiger e Ernest Rutherford, e perfezionati nel 1928 dallo stesso Geiger e da Walther Müller, erano basati sul potere ionizzante delle particelle cariche, e permettevano di rivelare e contare le particelle, una per una, tramite metodi elettrici. I contatori erano costituiti da un lungo tubo conduttore sul cui asse era teso un filo metallico. Tra tubo e filo era applicata una tensione di alcune centinaia di volt, insufficiente di per sé a innescare una scintilla nel gas a bassa pressione che riempiva lo strumento. Se però il gas veniva attraversato da una particella carica che lo ionizzava, si produceva all'interno del tubo una scarica che veniva registrata da un elettrometro. Questo tipo di contatore conobbe una larga diffusione, e svolse un ruolo cruciale nello studio dei raggi cosmici.

L'esperimento di Bothe e Kohlhörster, segnò l'inizio di un'accesa discussione sulla natura dei raggi cosmici e aprì una controversia sulla loro natura: si trattava di onde elettromagnetiche di grandissima energia ossia raggi γ , come sostenuto da Robert Millikan, o di corpuscoli? Insomma, come già era avvenuto nel corso del Settecento e fino ai primi decenni dell'Ottocento riguardo alla natura della luce, e ancora nella seconda metà dell'Ottocento in relazione alla natura dei "raggi catodici", si riproponeva il dilemma onda-corpuscolo a proposito di una nuova fenomenologia fisica.

La scoperta di Bothe e Kohlhörster era una sfida al quadro interpretativo dominante, una sfida che Rossi raccoglie con entusiasmo. Nel giro di poche setti-

electromagnetic waves of vast energy, that is γ rays, or were they corpuscles? In a word, just as in the debate about the nature of light that continued over the course of the eighteenth century and up to the early nineteenth, and the debate about the nature of "cathode rays" in the second half of the nineteenth century, once again scientists were facing the wave-corpuscle dilemma in relation to a new physical phenomenon.

The discovery made by Bothe and Kohlhörster was a gauntlet thrown down to the dominant interpretation, and Rossi enthusiastically rose to the challenge. Within a few weeks the young Venetian scientist invented and published the design of a circuit consisting of triodes and Geiger-Müller counters that enabled the automatic recording of the coincidences between different counters. It is significant to note in passing that this same circuit was shortly to become one of the basic components of the modern computer (since it is essentially, indeed, an AND port). This marked the start of the use of electronics in the field of nuclear and sub-nuclear physical experiments. With the new circuit, which was to be extensively used by Rossi himself in the years to come as well as by many of the other physicists who were interested in cosmic rays, Rossi illustrated the incredible power of the cosmic radiation particles in penetrating even layers of lead of over a meter thick. He discovered that, with unexpected frequency, the cosmic radiation produced in the matter groups of particles that became known by the name of "showers".² In the summer of 1930, thanks to a scholarship which Garbasso obtained for him, Rossi was able to continue these experiments in Bothe's laboratory in the Reichsanstalt in Germany. Rossi then communicated the results obtained at Arcetri and in Germany to the Conference

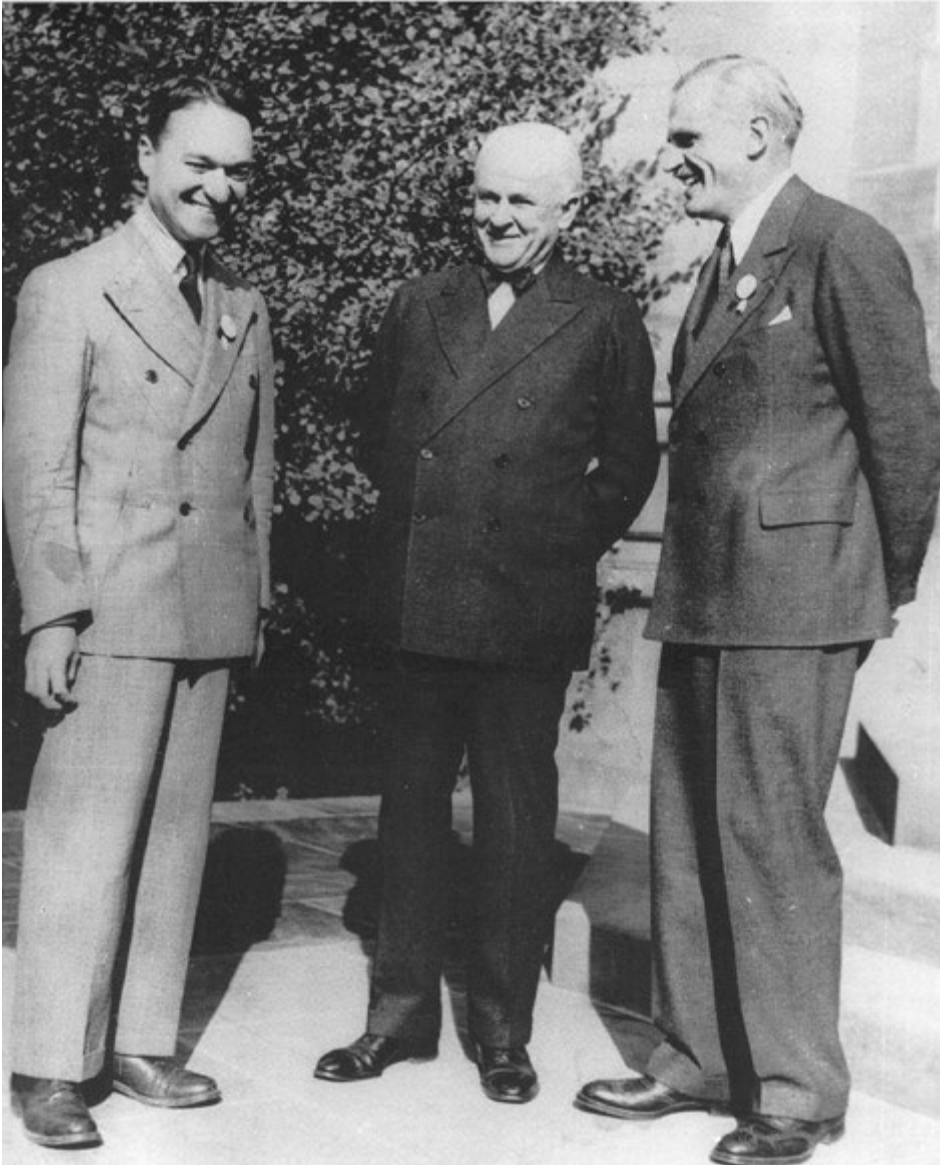


Figura 2. (Da sinistra) Bruno Rossi, Robert Millikan e Arthur Compton al Convegno di Fisica Nucleare della Regia Accademia d'Italia, Roma 1931 (riprodotto da B. Rossi, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987).

Figure 2. (From left) Bruno Rossi, Robert Millikan and Arthur Compton at the Conference on Nuclear Physics of the Italian Royal Academy, Rome 1931 (reproduced from B. Rossi, *Moments in the Life of a Scientist*, Cambridge University Press, New York 1990).

mane il giovane scienziato veneziano inventa e pubblica il disegno di un circuito costituito da triodi e da contatori di Geiger-Müller che permette la registrazione automatica delle coincidenze fra diversi contatori. Vale la pena di notare che questo circuito di lì a poco diventerà uno degli elementi base dei moderni calcolatori elettronici (si tratta infatti essenzialmente di una porta AND). È l'inizio dell'utilizzazione dell'elettronica nell'ambito degli esperimenti nella fisica nucleare e subnucleare. Con il nuovo circuito, che sarà largamente utilizzato negli anni successivi da Rossi stesso e da moltissimi dei fisici che si interessano ai raggi cosmici, Rossi evidenzia lo straordinario potere di penetrazione delle particelle della radiazione cosmica attraverso strati di piombo di oltre un metro, e scopre che la radiazione cosmica produce nella materia con inaspettata frequenza gruppi di particelle che diventeranno note con il nome di *sciame* (in inglese, *showers*).² Nell'estate del 1930, grazie a una borsa procuratagli da Garbasso, Rossi prosegue questi esperimenti in Germania nel laboratorio di Bothe al Reichsanstalt. I risultati ottenuti ad Arcetri e in Germania, vengono comunicati da Rossi al congresso di Roma del 1931, il primo congresso internazionale di fisica nucleare, aprendo in questa sede la controversia tra chi, come Rossi e Arthur Compton, sostiene la tesi della natura corpuscolare della radiazione cosmica primaria, e chi, come Millikan, continua a considerare la radiazione cosmica primaria come una radiazione γ .

Una possibilità di risolvere la questione viene proposta dallo stesso Rossi mentre ancora si trova a Firenze. Essa è basata sullo studio dell'eventuale azione del campo magnetico terrestre sulla radiazione primaria. Nel caso in cui questa sia costituita da particelle cariche, si dovrebbero osservare due effetti: una

that was held in Rome in 1931, the first international conference on nuclear physics. It was this address that gave rise to the controversy between those who, like Rossi and Arthur Compton, supported the theory of the corpuscular nature of primary cosmic radiation, and those who, like Millikan, continued to consider primary cosmic radiation as γ radiation.

A possible solution to the question was proposed by Rossi while he was still in Florence. This was based on study of the possible action of the terrestrial magnetic field on primary radiation. If the latter consisted of charged particles, then two effects should be observed: a reduction of the intensity of the radiation the closer one got to the magnetic equator ("latitude effect") and an asymmetry of the radiation in relation to the magnetic meridian ("East-West effect", that is a greater intensity of the radiation from the east in the case of a prevalence of particles with negative electrical charge, or from the west for positive particles). On the basis of Rossi's theory, the asymmetry ought to be greater at lesser geomagnetic latitudes. Rossi immediately attempted to check this through experimentation in Florence in 1931, but to no avail. In an article that he published jointly with Enrico Fermi in 1933, the negative result was interpreted taking atmospheric absorption into account: at the latitude of Florence and at sea level it is not effectively possible to find any asymmetry. The measurements have to be made at sufficiently low latitudes and at altitudes sufficiently high above sea level. Rossi therefore proposed an expedition to a point close to the magnetic equator, which he was able to materially organize only a few years later.

diminuzione dell'intensità della radiazione avvicinandosi all'equatore magnetico ("effetto latitudine"), e un'asimmetria della radiazione rispetto al meridiano magnetico ("effetto est-ovest", cioè una maggiore intensità della radiazione da oriente nel caso di una prevalenza di particelle di carica elettrica negativa, o da occidente per particelle positive). Sulla base della teoria di Rossi, l'asimmetria dovrebbe essere maggiore a minori latitudini geomagnetiche. Rossi stesso tentò subito una verifica sperimentale a Firenze nel 1931, ma invano. In un articolo, pubblicato nel 1933 in collaborazione con Enrico Fermi, il risultato negativo viene interpretato tenendo conto dell'assorbimento atmosferico: alla latitudine di Firenze e al livello del mare non è effettivamente possibile trovare nessuna asimmetria. È indispensabile effettuare le misure a latitudini sufficientemente basse e ad altezze sul livello del mare sufficientemente alte. Rossi propone allora una spedizione in prossimità dell'equatore magnetico, che riuscirà a concretizzare solo alcuni anni dopo.

Padova, 1932-1938

Nel frattempo, nel 1932, Rossi viene chiamato sulla cattedra di fisica sperimentale dell'Università di Padova, e qui introduce immediatamente le ricerche sui raggi cosmici. Si tratta per Padova di un settore completamente nuovo poiché Giuseppe Vicentini, titolare della cattedra di fisica sperimentale fino all'anno precedente, si era essenzialmente dedicato allo studio dei raggi X e alla sismografia. Le lezioni

Padua, 1932-1938

In the meantime, in 1932, Rossi was called to the University of Padua where he was appointed professor of experimental physics and immediately introduced his research into cosmic rays. For Padua this was a completely new sector, since Giuseppe Vicentini, who had held the chair of experimental physics up to the previous year, had devoted himself essentially to the study of x-rays and to seismography. At the time, the physics lectures and research took place in the Palazzo del Bo, which had been the historic premises of the university since the 16th century.

During his six-year stay in Padua, before he was forced to emigrate from Italy in 1938, Rossi profitably pursued his career on at least three fronts: research, teaching and organization. In terms of research, he consolidated the study of cosmic rays and launched the construction of a 1-million volt accelerator which was never completed. In the sphere of teaching he trained up a new generation of talented young physicists. Finally, apropos organization, he planned and supervised the construction of the new "Galileo Galilei" Physics Institute, where the Department still has its premises, which was one of the most advanced of the time in terms of both design and equipment.

Rossi was bitterly disappointed when he was forced to leave Padua in 1938: "Eventually, in September of 1938, I learned that I no longer was a citizen of my country, and that, in Italy, my activity as a teacher and a scientist had come to an end" (Rossi, 1990, pp. 39-40). It was a dramatic episode – rendered even harsher by the behavior of the people who ought to have

e la ricerca in fisica vengono in quegli anni svolte al Palazzo del Bo, sede storica dell'Università dal XVI secolo.

Nei sei anni di permanenza a Padova, prima di essere costretto a lasciare l'Italia nel 1938, Rossi svolge una fruttuosa attività almeno su tre fronti: la ricerca, la didattica e l'organizzazione. Sul fronte della ricerca consolida lo studio dei raggi cosmici, e inizia la costruzione di un acceleratore da 1 milione di volt che non sarà mai portata a termine; sul fronte della didattica forma una nuova generazione di giovani e valenti fisici; sul fronte infine dell'organizzazione, progetta e segue la realizzazione della costruzione del nuovo Istituto di fisica "Galileo Galilei", attuale sede del Dipartimento, uno dei più avanzati dell'epoca sia per concezione sia per strumentazione.

Vale la pena sottolineare l'amarezza di Rossi nel dover lasciare Padova 1938, quando riceve, come ricorda lui stesso, "quel documento che conservo ancora e in cui si dice che possono fare a meno di me all'Università" (Rossi, 1986, p. 51). Un episodio drammatico - anche per il modo in cui si comportarono le persone che avrebbero dovuto essergli vicine a Padova - che lo porterà a trascurare negli scritti autobiografici il periodo padovano, menzionando solo di sfuggita le attività che vi svolse. In realtà Rossi conduce in quegli anni ricerche importanti, naturale sviluppo di quelle iniziate ad Arcetri, di cui cita i risultati in lavori posteriori, evitando però spesso di fare esplicito riferimento a Padova.

Basti pensare che risale al 1933 la spedizione in Eritrea finanziata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, intesa proprio a mettere in evidenza "l'effetto latitudine" e "l'effetto est-ovest". In realtà, una dipendenza dell'intensità della radiazione

stood by him in Padua – which indeed led him to gloss over the Padua period in his autobiographical writings, making only a cursory mention of the activities he had carried out there. In actual fact, Rossi performed important research during those years, the natural development of those he had carried out at Arcetri; he did indeed cite the results of these activities in later works, while frequently avoiding any explicit reference to Padua.

Suffice it to recall, indeed, the expedition to Eritrea in 1933, funded by the National Research Council, which was specifically intended to demonstrate the "latitude effect" and the "East-West effect". Actually, the fact that the intensity of radiation depended on latitude had already been observed in 1930 by Jacob Clay and by Compton in 1932. Compton then conducted research in a number of different locations. The Italian expedition, led by Rossi himself, confirmed a gradual diminishing of the intensity of cosmic radiation during the journey by ship from Spalato to Massawa as they approached the magnetic equator.

As for the East-West effect, this was finally studied by the Italian mission in Asmara, in Eritrea, at an altitude of 2,370 meters above sea level and at a geomagnetic latitude of 11° 30' north. The experiments demonstrated that, for a given zenith angle, the intensity of the cosmic rays coming from the West is decidedly greater than that of those coming from the East. This demonstrated that the cosmic rays are made up prevalently of positively-charged particles. Unfortunately the delay in the departure of the expedition, which was to a degree connected with Rossi's departure for Padua but to an even greater extent with the difficulties of obtaining the government funding in time (which is a constant in Italian

cosmica dalla latitudine magnetica era già stata osservata nel 1930 da Jacob Clay e nel 1932 da Compton. Quest'ultimo conduce numerose ricerche in svariate località. La spedizione italiana, diretta dallo stesso Bruno Rossi, conferma durante il viaggio in nave da Spalato a Massaua una graduale diminuzione di intensità della radiazione cosmica all'avvicinarsi dell'equatore magnetico.

Per quanto riguarda l'effetto est-ovest, viene finalmente studiato dalla missione italiana ad Asmara, in Eritrea, a un'altitudine di 2370 metri sopra il livello del mare e a una latitudine geomagnetica di 11°30' nord. Le esperienze mostrano che, per un dato angolo zenitale, l'intensità dei raggi cosmici provenienti da occidente è decisamente superiore rispetto a quelli provenienti da oriente: si dimostra così che i raggi cosmici sono costituiti in prevalenza da particelle di carica positiva. Purtroppo i ritardi con cui partì la spedizione, legati certo al trasferimento di Rossi a Padova ma specialmente alle difficoltà di ottenere per tempo i finanziamenti governativi (un'invariante nella storia del nostro Paese), costano a Rossi, con suo dispiacere, la priorità della scoperta. Infatti, poco prima dell'inizio degli esperimenti italiani, risultati simili vengono ottenuti da altri gruppi, quello di Thomas Johnson e quello di Compton. Tuttavia, secondo Rossi, l'effetto rivelato dagli altri gruppi era notevolmente più piccolo, e lasciava spazio all'ipotesi di Compton secondo cui solo una piccola porzione dei raggi cosmici è costituita di corpuscoli carichi positivamente. L'esperimento di Rossi costituisce in questo senso un contributo decisivo alla definizione della natura della radiazione primaria.

Sempre ad Asmara Bruno Rossi e il suo assistente, Sergio De Benedetti, osservano per primi un effetto anomalo che non possono all'epoca interpretare. Rile-

history), to his chagrin cost Rossi the priority of the discovery. Indeed, shortly before the start of the Italian experiments, similar results were obtained by other groups, headed by Thomas Johnson and by Compton. Nevertheless, according to Rossi, the effect detected by the other groups was considerably smaller, leading in consequence to Compton's theory that only a small portion of the cosmic rays is made up of positively-charged corpuscles. In this respect, Rossi's experiment represents a decisive contribution to the definition of the nature of primary radiation.

It was again in Asmara that Bruno Rossi and his assistant Sergio De Benedetti observed for the first time an anomalous effect that they were not then able to interpret. They detected a reduction of the intensity of the cosmic rays in the passage through the atmosphere that was markedly greater than the predictions. They revealed their inability to explain this phenomenon at the time by hypothesizing that, in addition to the positive corpuscles, primary cosmic radiation also contains radiation of a different kind. It was only in 1937 that it was discovered that part of the secondary cosmic radiation – that which is characterized by a high power of penetration – is made up of particles that were unknown at the time, which were then called by various names (the most common being mesotrons) and are now known as muons (μ leptons). In 1938 Hans Euler and Werner Heisenberg demonstrated that the assumption that these are unstable particles, with a decay time in the order of millionths of a second, implies an anomalous attenuation in the atmosphere due to decay in flight. This attenuation, which was observed by Rossi and De Benedetti in 1933, was later further studied by Rossi and David Hall

vano una diminuzione dell'intensità dei raggi cosmici nel passaggio attraverso l'atmosfera decisamente maggiore rispetto alle previsioni. Manifestano la loro perplessità sulla questione, ipotizzando che la radiazione cosmica primaria, oltre ai corpuscoli positivi, contenga in piccola parte anche radiazioni di altra natura. Solo nel 1937 si scoprirà che una parte della radiazione cosmica secondaria, quella caratterizzata dall'alto potere di penetrazione, è costituita da particelle all'epoca sconosciute chiamate allora con vari nomi (il più comune è *mesotroni*) e oggi note come *muoni* (*leptoni* μ). Hans Euler e Werner Heisenberg nel 1938 mostrano che l'ipotesi che si tratti di particelle instabili, con un tempo di decadimento dell'ordine del milionesimo di secondo, implica un'attenuazione anomala nell'atmosfera dovuta al decadimento in volo. Questa attenuazione, osservata da Rossi e De Benedetti nel 1933, verrà ulteriormente studiata da lui e David Hall nel 1941 con esperimenti che verificano per la prima volta la dilatazione dei tempi prevista dalla relatività ristretta (Peruzzi, 2014, p. 43).

Infine, altro risultato rilevante della spedizione in Eritrea è la prima congettura dell'esistenza nella radiazione secondaria di grandi sciame di particelle generati nell'atmosfera, una congettura legata alla frequenza di coincidenze tra contatori lontani troppo elevata per essere dovuta solo a coincidenze casuali. È proprio Rossi a proporre l'ipotesi che ogni tanto arrivino sugli apparecchi sciame molto estesi di particelle. La conferma dell'ipotesi di Rossi dell'esistenza di sciame estesi arriverà alla fine degli anni 1930 dagli studi di Pierre Auger e Roland Maze, che ne analizzeranno per primi la struttura e le dimensioni. Vale la pena notare che i grandi sciame dell'atmosfera si riveleranno preziosissimi nell'ambito dello studio

in 1941 with experiments that, for the first time, verified time dilation as set forth in the theory of special relativity (Peruzzi, 2014, p. 43).

Finally, another significant result of the expedition to Eritrea was the very first conjecture of the existence in secondary radiation of great showers of particles generated in the atmosphere, a conjecture that was connected with the frequency of coincidences between distant counters too high to be due simply to random coincidences. It was indeed Rossi who proposed the theory that every so often the devices record the arrival of extensive showers of particles. The confirmation of Rossi's hypothesis regarding the existence of extensive showers arrived at the end of the 1930s through the studies of Pierre Auger and Roland Maze, who were the first to analyze their structure and dimensions. It is also important to note that the great showers in the atmosphere proved to be extremely useful within the framework of the study – carried out again by Bruno Rossi in liaison with his collaborators in the United States starting in the late 1940s – of the high-energy part of the cosmic radiation spectrum. Indeed, since there were no adequate detectors available for particles of such high energy (considerably greater than a billion eV),³ the measurements of the great showers indirectly made it possible to arrive at the energy of the primary particle. As Rossi was to write years later, "the main interest of air showers experiments is that they provide the only available means of detecting primary cosmic-ray particles of the highest energies and of determining their energy spectrum and their arrival directions" (Rossi, 1982, p. 82). And now, at a time when accelerator physics is marking time – partly on account of the enormous costs of the systems – we are witnessing a revival of

- svolto dallo stesso Bruno Rossi e dai suoi collaboratori negli Stati Uniti a partire dalla fine degli anni 1940 - della parte dello spettro di radiazione cosmica di alta energia: infatti non disponendo di rivelatori adeguati per particelle di così alta energia (assai superiore al miliardo di eV),³ le misure sui grandi sciami permetteranno indirettamente di risalire all'energia della particella primaria. Come Rossi scriverà anni dopo, "gli esperimenti sui raggi cosmici in atmosfera costituiscono l'unico mezzo disponibile per rivelare le particelle primarie dei raggi cosmici di altissima energia e per determinare il loro spettro di energia e la loro direzione di provenienza" (Rossi, 1982, p. 82). E oggi, nel momento in cui la fisica degli acceleratori segna il passo anche a causa degli enormi costi degli impianti, si assiste a un ritorno di interesse nel settore in particolare proprio nell'analisi degli sciami estesi di raggi cosmici a terra.

Oltre agli studi relativi agli esperimenti di Asmara, Rossi svolge a Padova, in collaborazione con giovani ricercatori come De Benedetti e Angelo Drigo, ulteriori ricerche sui raggi cosmici. In particolare, sempre impiegando il metodo dei contatori, conduce una serie di esperimenti sulla generazione degli sciami nella materia mostrando che vengono prevalentemente prodotti non già dalla radiazione penetrante fino ad allora osservata a livello locale, ma da raggi poco penetranti, cioè rapidamente assorbiti, di cui non si conosce la natura. Con l'introduzione della teoria proposta da Hans Albrecht Bethe e Walter Heitler nel 1934, ma soprattutto con i lavori del 1937 di Homi Jehangir Bhabha e Heitler, e di J. F. Carlson e J. Robert Oppenheimer, tali raggi verranno identificati come elettroni e fotoni di alta energia.

interest precisely in the field of analysis of the extensive showers of cosmic rays on the earth.

In addition to studies on the Asmara experiments, in Padua Rossi also carried out ulterior researches into cosmic rays together with his young researchers such as De Benedetti and Angelo Drigo. More specifically, again exploiting the method of the counters, he conducted a series of experiments on the generation of the showers in matter, demonstrating that these are produced not by the penetrating radiation that had been observed up to then at local level, but by rays with poor penetration, in other words that were rapidly absorbed, the nature of which was not known. Through the introduction of the theory proposed by Hans Albrecht Bethe and Walter Heitler in 1934, and above all through the works published in 1937 by Homi Jehangir Bhabha and Heitler, and by J. F. Carlson and J. Robert Oppenheimer, these rays were identified as high-energy electrons and photons.

From Padua to the United States of America

In April 1938 Bruno Rossi married Nora Lombroso, granddaughter of the renowned anthropologist Cesare Lombroso. However, just a few months later in September 1938, Rossi was dismissed from his professorship and forced to emigrate as a result of the racial laws. No-one went to see him off, except the janitor of the Physics Institute, Mario Calore, to whom Rossi would remain eternally grateful. These events left a scar on his life and help us to understand why he distanced himself from his Padua period. It is hardly a surprise therefore that when, in

Da Padova agli Stati Uniti d'America

Nell'aprile del 1938 Bruno Rossi sposa Nora Lombroso, nipote del noto antropologo Cesare Lombroso. Tuttavia pochi mesi dopo, nel settembre del 1938, Rossi viene privato della sua cattedra a causa delle leggi razziali e costretto a espatriare. Nessuno va a salutarlo salvo il portiere dell'Istituto di Fisica, Mario Calore, al quale Rossi rimarrà sempre riconoscente. Queste vicende segneranno la sua vita e fanno capire la sua presa di distanza dal periodo padovano. E non è un caso che Rossi nel 1987, quando tornerà a Padova in occasione del cinquantennale della fondazione dell'Istituto di Fisica patavino, non vorrà mettervi piede.

I coniugi Rossi lasciano l'Italia in ottobre alla volta di Copenhagen dove vengono accolti all'Istituto di Niels Bohr. Per l'appunto in quel periodo Bohr ha organizzato a Copenhagen un convegno che offre l'opportunità a Rossi di incontrare vari fisici che si occupano di raggi cosmici, tra i quali Patrick Blackett che invita lo studioso italiano ad andare a Manchester. Poche settimane dopo Rossi dà seguito all'invito di Blackett che ha pronta per lui una borsa ottenuta dalla *Society for the Protection of Science and Learning*. A Manchester Rossi sarà coinvolto in vari esperimenti, e in particolare in uno, svolto con Lajos (germanizzato in Ludwig) Janossy, nel quale utilizza per la prima volta il metodo dell'anti-coincidenza nella misura di assorbimento di fotoni di alta energia nel piombo.

All'inizio del 1939 Compton invita Rossi a partecipare a una conferenza estiva sui raggi cosmici all'Università di Chicago. Rossi arriva quindi negli USA nel giugno del 1939 e, subito dopo la conferenza, propone a Compton di fare un espe-

1987, he returned to Padua at the time of the 50th anniversary of the foundation of the Physics Institute, he did not wish to set foot in it.

The Rossis left Italy in October for Copenhagen, where they were welcomed at the Institute of Niels Bohr. As chance would have it, in this very period Bohr organized a conference in Copenhagen which offered Rossi the opportunity to meet various physicists who were dealing with cosmic rays, including Patrick Blackett, who promptly invited the Italian scientist to come to Manchester. A few weeks later Rossi took up the invitation of Blackett, who had also obtained a scholarship for him from the Society for the Protection of Science and Learning. In Manchester Rossi was involved in various experiments, and in particular one which he carried out with Lajos (Germanised as Ludwig) Janossy, in which for the first time he used the method of anti-coincidence in measuring the absorption of high-energy photons by lead.

At the beginning of 1939 Compton invited Rossi to take part in a summer symposium on cosmic rays at the University of Chicago. Rossi arrived in the USA in June 1939 and, immediately after the conference, he proposed to Compton to carry out an experiment at high altitude in order to reach a definite conclusion regarding the instability of the mesotron, which had been one of the topics discussed at the symposium. Not only did Compton accept Rossi's proposal, but he immediately declared that there was no time to be lost, since with the arrival of winter the snow would prevent them from reaching the chosen mountain. In little more than a month Rossi assembled the experimental apparatus, which consisted of Geiger-Müller counters and circuits. With the help of two young assistants, Norman Hilberry and Barton Hoag, he fitted

rimento in alta quota per arrivare a una definitiva risposta riguardo all'instabilità del mesotrone, uno dei temi discussi nella conferenza. Compton non solo accetta la proposta di Rossi, ma suggerisce di non perdere tempo per evitare che con l'arrivo dell'inverno la neve impedisca l'accesso in alta quota. Rossi in poco più di un mese mette a punto l'apparato sperimentale, formato da contatori Geiger-Müller e circuiteria. Con l'aiuto di due giovani assistenti, Norman Hilberry e Barton Hoag, allestisce un autobus per trasportare l'apparato sperimentale, insieme a una tonnellata di piombo e grafite, sulla cima del monte Evans (4348 m) in Colorado raggiungibile con una strada. I dati ottenuti a varie quote, dalla base alla cima della montagna, mostrano che l'intensità di mesotroni si attenua più rapidamente in aria che in un quantitativo equivalente di grafite. L'attenuazione più marcata in aria non può che essere attribuita, come ipotizzato da Euler e Heisenberg, al decadimento in volo dei mesotroni la cui vita media è stimata dell'ordine del milionesimo di secondo: è la prima prova sperimentale dell'instabilità di una particella fondamentale.

Intanto, nell'autunno del 1940, Rossi si sposta alla Cornell University dove Bethe gli ha offerto un posto di professore associato. È qui che Rossi ottiene la prima misura precisa della vita media del mesotrone a riposo. Per realizzare l'esperimento Rossi inventa un altro dispositivo elettronico che si rivelerà di fondamentale

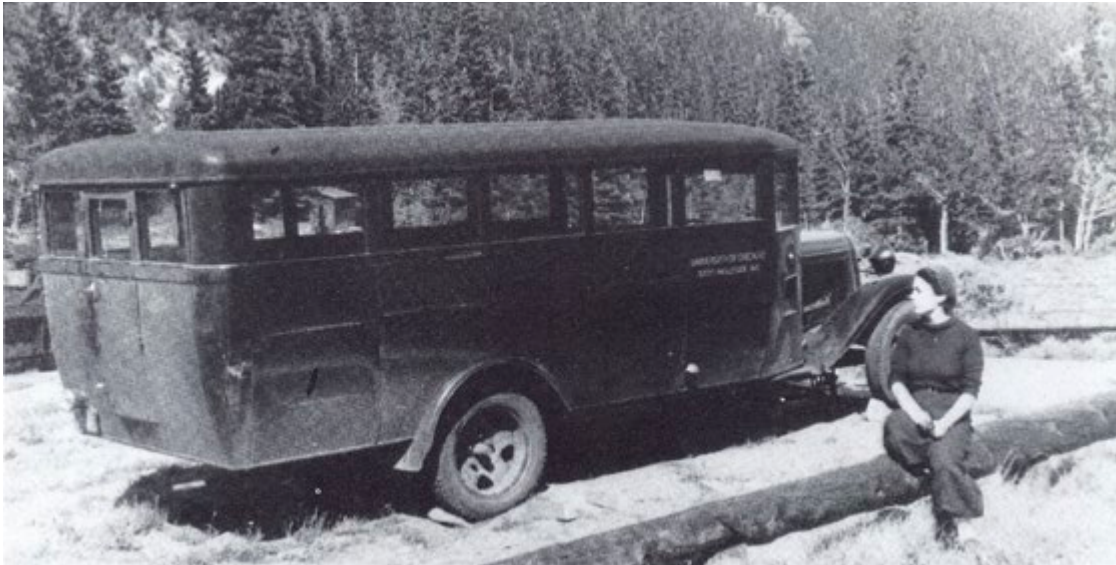


Figura 3. L'autobus attrezzato per le misure a diverse quote fino alla cima del Monte Evans. Qui si trova a Echo Lake, 1939, insieme a Nora Rossi (riprodotto da B. Rossi, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987).

Figure 3. The bus equipped for the measurements at different altitudes up to the summit of Mount Evans. Here at Echo Lake, 1939, together with Nora Rossi (reproduced from B. Rossi, *Moments in the Life of a Scientist*, Cambridge University Press, New York 1990).

importanza per la fisica: il convertitore tempo-ampiezza (oggi noto come TAC, acronimo di “Time-to-Amplitude Converter”). Rossi e un giovane laureato, Norris Nereson, utilizzano un’opportuna configurazione di contatori Geiger-Müller collegati a circuiti di coincidenza e anti-coincidenza per rivelare mesotroni, che vengono fermati in uno strato assorbente e quindi decadono con l’emissione di elettroni. Il TAC serviva a misurare il tempo che intercorre tra il momento in cui il mesotrone viene fermato nell’assorbente e il momento in cui decade. In questo modo i due studiosi ottengono un valore della vita media del mesotrone a riposo pari a $2,15 \pm 0,07$ milionesimi di secondo, in accordo con le migliori stime odierne della vita media del muone. Il TAC sarà uno dei dispositivi utilizzati di lì a poco nelle ricerche segrete condotte a Los Alamos nell’ambito del “Progetto Manhattan” per la realizzazione della bomba atomica, e per questo la pubblicazione dell’articolo che descrive l’invenzione di Rossi avverrà solo nel 1946, dopo la fine della guerra.

Nel 1943 Rossi viene chiamato a Los Alamos. Come scrive nella sua autobiografia:

L’invito a partecipare a Los Alamos mi era stato portato da Hans Bethe ai primi di luglio. Seguì un periodo di grande, penosa incertezza. Potevo facilmente immaginare quello che si stava facendo a Los Alamos, e rifuggivo dall’idea di partecipare allo sviluppo di un ordigno così spaventoso come sarebbe stata la bomba atomica. D’altra parte ero terribilmente preoccupato, così come molti altri, dal pericolo che in Germania, dove era stata scoperta la fissione, si fosse vicini a realizzare la bomba. Essendomi rassegnato al fatto che né accettando né rifiutando la richiesta di Los Alamos potevo sottrarmi a una pesante responsabilità, vidi che

out a bus to carry the experimental equipment, together with a ton of lead and graphite, to the summit of Mount Evans in Colorado (4,348 m) which could be reached by road. The data obtained at various altitudes, from the foot of the mountain to the summit, demonstrated that the intensity of the mesotrons was attenuated more rapidly in air than in an equivalent quantity of graphite. As hypothesized by Euler and Heisenberg, the more marked attenuation in the air could only be attributed to the decay in flight of the mesotrons, the average life of which is estimated in the order of a millionth of a second: this was the first experimental proof of the instability of a fundamental particle.

Meanwhile, in the autumn of 1940, Rossi moved to Cornell University where Bethe had offered him the post of associate professor. It was here that Rossi obtained the first precise measurement of the mean life of the mesotron at rest. To perform this experiment, Rossi invented another electronic device which was to prove of fundamental importance for physics: the time-to-amplitude converter (now known by the acronym TAC). Rossi and a young graduate, Norris Nereson, used a special configuration of Geiger-Müller counters connected to coincidence and anti-coincidence circuits to detect the mesotrons, which were stopped in an absorber layer and therefore decayed, emitting electrons. The TAC was designed to measure the time interval between the moment the mesotron is stopped in the absorber and the moment when the mesotron decays. In this way the two scientists were able to arrive at an average life of the mesotron in repose of 2.15 ± 0.07 millionths of second, which tallies with the best currently available estimates of the life of the muon. The TAC was one of the

la scelta non poteva essere basata che sulla necessità di combattere l'immediato pericolo. (Rossi, 1987, p. 56)

A Los Alamos Rossi viene incaricato di dirigere insieme a Hans Staub il "gruppo dei rivelatori" o "gruppo P6" (il gruppo numero 6 della Divisione di fisica diretta da Robert Bacher), che doveva sviluppare e produrre rivelatori di radiazioni. Senza entrare nella storia del Progetto Manhattan, riportiamo solo le parole con le quali Rossi ricorda nella sua autobiografia il suo stato d'animo quando il 16 luglio 1945, dopo la prima esplosione di una bomba atomica nel deserto vicino alla base di Trinity, sta tornando a Los Alamos:

Poco dopo l'esplosione partii per Los Alamos, un viaggio di circa 350 miglia. Con me in macchina c'erano Benjamin Diven, Otto Frish e una WAC [Corpo ausiliario femminile dell'esercito]. Otto si offrì di aiutarmi nella guida, ma non mi sentii di accettare perché egli era il peggiore guidatore che avessi mai conosciuto. Uno dopo l'altro i miei passeggeri caddero addormentati, e così io venni lasciato solo con i miei pensieri. Fino ad allora, la pressione del lavoro era stata tale che non avevo avuto tempo di riflettere. Ora, il terribile significato di quanto avevamo fatto mi colpì in pieno. Debbo confessare che, di tanto in tanto, provavo una certa soddisfazione per aver partecipato, sia pure in piccola misura, a un'impresa così incredibilmente difficile, di tale importanza storica. Ma questo sentimento veniva presto sopraffatto da un senso di colpa e da una terribile ansietà per le possibili conseguenze del nostro lavoro. Sentimenti questi che vennero riacutizzati quando, alcuni giorni dopo, seppi della distruzione di Hiroshima e di Nagasaki. Io, come molti dei miei colleghi, avevamo sperato che la bomba

devices that was to be used shortly afterwards in the researches carried out in secret in Los Alamos as part of the "Manhattan Project" for the creation of the atomic bomb. For this reason the publication of the paper describing Rossi's invention did not take place until 1946, after the end of the war.

In 1943 Rossi was called to Los Alamos. As he writes in his autobiography:

The invitation to join the Los Alamos project had been brought to me by Hans Bethe early in July. The days that followed this invitation were among the hardest in my life; without being told I could easily imagine what the Los Alamos project was about, and I was loath to have any part in the development of such a deadly device as the fission bomb was expected to be. On the other hand, I like many others, was terribly worried by the likelihood that in Germany, where fission had been discovered, work on the bomb might be advancing at a fast pace. Finally, having resigned myself to the fact that neither by accepting nor rejecting the Los Alamos request could I escape a heavy responsibility, I decided that my choice could not be based on anything else but the need to fight the immediate danger. (Rossi, 1990, p. 68)

At Los Alamos Rossi was appointed along with Hans Staub to manage the "detector group" or "group P6" (group number 6 of the Physics division directed by Robert Bacher), which had the task of developing and producing radiation detectors. Without entering into the history of the Manhattan Project, we simply cite the words with which Rossi in his autobiography recalls his state of mind when he was returning Los Alamos on 16 July 1945, after the first explosion of an atomic bomb in the desert close to the Trinity base:

sarebbe stata usata in una dimostrazione incruenta, per indurre il Giappone alla resa. (Rossi, 1987, pp. 80-1)

Finita la guerra, Rossi accetta un posto di professore al MIT. Intorno a lui si riuniscono da subito molti valenti giovani fisici che avevano dovuto interrompere la formazione post laurea a causa della guerra. Si costituisce così il nucleo di quello che diventerà il gruppo di ricerca sui raggi cosmici al MIT. Alle ricerche del gruppo Rossi inviterà a partecipare negli anni, per periodi più o meno lunghi, giovani laureati o scienziati già affermati provenienti dall'Europa e dall'Asia, come Charles Peyrou, Raymond Stora e Piero Bassi. Si crea in tal modo una comunità cosmopolita nella quale nasceranno durature collaborazioni e relazioni internazionali. I settori su cui Rossi concentra le ricerche del gruppo sono essenzialmente tre. Il primo riguarda la natura, l'origine e lo spettro di energia della radiazione primaria. Il secondo settore è relativo al modo in cui i raggi cosmici si propagano attraverso l'atmosfera. Il terzo, infine, concerne l'individuazione di quali nuove particelle vengano prodotte nelle interazioni di alta energia dei raggi cosmici. Sono tre fondamentali settori sui quali le ricerche erano state interrotte a causa dello scoppio della guerra.

In tutti e tre questi settori il gruppo ottiene risultati rilevanti. Tuttavia la fine degli anni '50, con l'avvento dei grandi acceleratori, segna anche la fine del predominio dei raggi cosmici nelle ricerche sulle interazioni nucleari di alta energia e sulle particelle create in queste interazioni. Certo, osserva Rossi nella sua autobiografia, rimanevano da esplorare altri aspetti della radiazione cosmica, come

Shortly after the explosion I started for Los Alamos, a trip of some 350 miles; with me in the care were Benjamin Diven, Otto Frish and a WAAC [a female auxiliary army corps]. Otto offered to share the driving, but I did not dare accept because he was the worst driver I had ever known. One after the other my passengers fell asleep, and I was left alone with my thoughts. Until then the pressure of the work had been such as to leave no time for reflections. Now the terrifying significance of what we had done hit me like a blast. I must admit that at times I felt a certain pride at having played a role in an undertaking of such great difficulty, of such historical importance. But soon this feeling was overwhelmed by a feeling of guilt and by a terrible anxiety for the possible consequences of our work, a guilt feeling that would be reinforced a short time later when I learned of the destruction of Hiroshima and Nagasaki. Like many of my colleagues, I had hoped that the bomb would be used in a bloodless demonstration to induce Japan to surrender. (Rossi, 1990, p. 98)

After the war was over Rossi accepted a job as professor at MIT. He immediately gathered around him a group of highly talented young physicists who had been forced to interrupt their post-doctoral studies on account of the war. And this was how the nucleus of what was to become the cosmic ray research group at MIT was formed. Over the years, Rossi would invite young graduates or established scientists from Europe and Asia to take part in the research of the group for longer or shorter periods; among these were Charles Peyrou, Raymond Stora and Piero Bassi. This led to the creation of a cosmopolitan community that fostered international relations and gave rise to enduring collaborations. Rossi focused the group's research

gli sciami estesi o le variazioni temporali connesse con l'attività solare o dovute ad altre cause, ma questi problemi "non bastavano a colmare il vuoto lasciato dalle ricerche trasferite agli acceleratori". In quegli stessi anni però, prosegue Rossi, per una "fortunata coincidenza" si stavano perfezionando le tecniche dei voli spaziali che "aprivano un campo di ricerca completamente nuovo" (Rossi, 1987, p. 107). Una certa affinità, sia nei problemi scientifici sia nelle tecniche sperimentali, tra le ricerche sui raggi cosmici e quelle di fisica spaziale favorisce il passaggio di molti dei fisici impegnati nei raggi cosmici all'astrofisica. Anche Rossi si impegnerà in questa nuova direzione, concentrandosi sullo studio del plasma interplanetario e sulla ricerca di sorgenti di raggi X esterne al sistema solare, due settori che di fatto vengono inaugurati proprio dai gruppi che lavorano con Rossi al MIT. Nel primo settore, quello del plasma interplanetario, Rossi insieme ad Alberto Bonetti, Herbert Bridge, Alberto Egidi e altri colleghi ottiene nei primi anni 1960 due fondamentali risultati: la prima osservazione diretta del vento solare e una misura della sua velocità; la prima osservazione della "cavità geomagnetica" (una regione dietro la Terra che è schermata dal vento solare dal campo magnetico terrestre) e la misura delle sue dimensioni (Rossi, 1987, p. 109-17). Nel campo dell'astronomia a raggi X, Rossi insieme a Riccardo Giacconi, un allievo di Beppo Occhialini che si era trasferito negli Stati Uniti, e altri colleghi individua nel 1962 la prima sorgente di raggi X esterna al sistema solare (Rossi, 1987, p. 117-23). I risultati ottenuti in entrambi questi settori segnano l'inizio di campi di ricerca ancora oggi fiorenti anche grazie alla spinta degli epigoni di coloro che avevano intrapreso le originali ricerche con Rossi.

essentially in three sectors. The first related to the nature, origin and energy spectrum of primary radiation. The second dealt with the way in which cosmic rays are propagated through the atmosphere, while the third addressed the identification of which new particles are produced in the high-energy interactions of the cosmic rays. These were three fundamental fields in which research had been interrupted by the outbreak of the war.

Despite the fact that the group achieved significant results in all three of these sectors, the advent of the large accelerators in the late 50s spelled the end of the cosmic ray monopoly over the study of high-energy nuclear reactions and the particles that were created in these interactions. Obviously, as Rossi observed in his autobiography, other aspects of cosmic radiation remained to be explored, such as high-energy extensive showers and the temporal changes related to solar activity or due to other causes. Nonetheless, such issues "did not suffice to fill the vacuum left by the transfer of high-energy nuclear physics to accelerators". However in the same period, Rossi goes on to point out, "as luck would have it" the advances being made in space-flight technology were "opening a rich, new field of scientific enquiry" (Rossi, 1990, p. 130). A certain affinity between the cosmic ray research and that of space physics – in terms of both scientific problems and experimental techniques – fostered the passage of many of the physicists engaged in cosmic rays to astrophysics. Rossi too turned his attention in this new direction, concentrating on the study of interplanetary plasma and research into the sources of X-rays outside the solar system, two fields that were indeed opened up by the groups working with Rossi at the MIT. In liaison with Alberto Bonetti, Herbert Bridge, Alberto Egidi and other

Insieme a Enrico Fermi, Bruno Rossi è l'altro grande protagonista della rinascita della fisica italiana negli anni 1930. Se il valore della scuola italiana di fisica è oggi di assoluto rilievo a livello internazionale lo si deve prima di tutto a loro. L'eredità lasciata da Rossi, e lo stesso vale per Fermi, non risiede solo nel valore indiscutibile dei suoi contributi scientifici, ma anche nella sua dedizione alla formazione dei giovani scienziati. Il filo d'Arianna del percorso scientifico di Rossi è quella che Einstein definì la "meraviglia" (Einstein, 1949, p. 12). Come scrive Rossi nella Prefazione alla sua autobiografia: "i momenti per me più entusiasmanti sono quelli in cui un mio esperimento ha dato un risultato incompatibile con le previsioni; una prova, questa, di quanto la ricchezza della natura superi l'immaginazione dell'uomo" (Rossi, 1987, p. VII).

Bibliografia

- Rossi B. (1982), "Development of the cosmic ray techniques", *Supplément au Journal de Physique* FASC. 12, Colloque C-8, International Colloquium on the History of Particle Physics, Paris 1982, pp. 69-88.
- Rossi B. (1986), *L'enigma dei raggi cosmici*, Montedison Progetto Cultura, Imago, Milano 1986 (cit. da riedizione Padova University Press, 2012).
- Rossi B. (1987), *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna.
- Einstein, A. (1949), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, a cura di P.A. Schilpp, Evanston, Illinois (tr. it. integrale, Boringhieri, Torino 1958, cit. da *Autobiografia Scientifica*, Boringhieri, Torino 1979).

colleagues, in the early 1960s Rossi came up with two fundamental results in the field of interplanetary plasma: the first direct observation of the solar wind and a measurement of its speed, and the first observation of the "geomagnetic cavity" (a region behind the Earth that is screened from the solar wind by the terrestrial magnetic field) and the measurement of its dimensions (Rossi, 1990, pp. 133-142). In the field of X-ray astronomy, in 1962 Rossi, along with Riccardo Giacconi, a student of Beppo Occhialini who had moved to the United States, and other colleagues identified the first source of X-rays outside the solar system (Rossi, 1990, pp. 143-150). The results obtained in both these sectors introduced new fields of research that are still flourishing today, also thanks to the input of the followers of those who had begun the original research with Rossi.

Alongside Enrico Fermi, Bruno Rossi is the other major exponent of the rebirth of Italian physics in the 1930s. If the standing of the Italian school of physics continues to be of the greatest prominence at international level, it is due above all to these two men. The legacy left by Rossi – and the same holds for Fermi – does not lie solely in the indubitable value of his scientific contributions, but also in his dedication to the training of young scientists. The guiding thread of Rossi's scientific career is what Einstein defined as "wonder" (Einstein, 1949, p. 12). As Rossi wrote in the preface to his autobiography: "for me, the most exhilarating moments have been those when an experiment gave a result contrary to all predictions, thus proving that the riches of Nature far exceed the imagination of Man" (Rossi, 1990, p.xv).

- Peruzzi G. (2014), “Dilatazione dei tempi alla prova”, *Asimmetrie*, n. 17, pp. 42-44.
- Peruzzi G., Talas S. (2007), “The Italian contributions to cosmic-rays physics from Bruno Rossi to the G-Stack. A new window into the inexhaustible wealth of nature”, *Rivista del Nuovo Cimento*, 30, pp. 197-257.

Giulio Peruzzi è professore associato di storia della fisica e storia della scienza e della tecnica al Dipartimento di fisica e astronomia dell'Università di Padova. È stato direttore del Centro di Ateneo per i Musei, e attualmente è delegato del Rettore alle attività museali e alla comunicazione scientifica e direttore del Master di comunicazione delle scienze. La sua attività di ricerca riguarda la storia della fisica dal XVII al XX secolo, i fondamenti della meccanica quantistica e la filosofia della fisica.

Note

¹ La radiazione cosmica primaria è quella che arriva sull'atmosfera dallo spazio, quella secondaria è quella rivelabile a terra o in atmosfera ed è prodotta dall'interazione della radiazione primaria con i costituenti dell'atmosfera.

² Quest'ultimo risultato apparve così sorprendente che occorre l'intervento di Werner Heisenberg perché Rossi riuscisse a pubblicarlo qualche anno dopo.

³ L'elettronvolt (eV) è una unità di misura dell'energia spesso usata in fisica e chimica. 1 eV corrisponde all'energia guadagnata da un elettrone accelerato attraverso una differenza di

Bibliography

- Rossi B. (1982), “Development of the cosmic ray techniques”, *Supplément au Journal de Physique* FASC. 12, Colloque C-8, International Colloquium on the History of Particle Physics, Paris 1982, pp. 69-88.
- Rossi B. (1986), *L'enigma dei raggi cosmici*, Montedison Progetto Cultura, Imago, Milano 1986 (quoted from the republished edition, Padova University Press, 2012).
- Rossi B. (1990), *Moments in the Life of a Scientist*, Cambridge University Press, New York.
- Einstein, A. (1949), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, edited by P.A. Schilpp, Evanston, Illinois (complete Italian translation, Boringhieri, Torino 1958, quoted from *Autobiografia Scientifica*, Boringhieri, Torino 1979).
- Peruzzi G. (2014), “Dilatazione dei tempi alla prova”, *Asimmetrie*, no. 17, pp. 42-44.
- Peruzzi G., Talas S. (2007), “The Italian contributions to cosmic-rays physics from Bruno Rossi to the G-Stack. A new window into the inexhaustible wealth of nature”, *Rivista del Nuovo Cimento*, 30, pp. 197-257.

Giulio Peruzzi is Associate Professor of History of Physics and History of Science and Technology in the Department of Physics and Astronomy at the University of Padua. He has been director of the University Museum Centre and is currently delegated by the Rector to museum

potenziale di 1 Volt. Un milione di eV è abbreviato con MeV, e un miliardo con GeV. Le energie dei raggi cosmici possono arrivare alle centinaia di milioni, se non miliardi, di GeV, ben al di sopra di quelle raggiungibili dagli attuali acceleratori di particelle.

activities and scientific communication. His research concerns the history of physics from the 17th to the 20th century, the foundations of quantum mechanics and the philosophy of physics.

Notes

¹ Primary cosmic radiation is that which arrives in the atmosphere from space; secondary radiation is that which can be detected on the earth or in the atmosphere and is produced by the interaction of the primary radiation with the constituent elements of the atmosphere.

² This latter result was so astonishing that Rossi was able to publish it only several years later, after Werner Heisenberg had vouched for his scientific credentials.

³ The electronvolt (eV) is a unit of energy frequently used in physics and chemistry. One eV corresponds to the amount of energy gained by a single electron accelerated through a potential difference of one volt. A million eV is abbreviated as MeV and a billion as GeV. The energies of cosmic rays can arrive at hundreds of millions, if not billions of GeV, much higher than those that can be achieved by modern particle accelerators.