

# L'enigma dei raggi cosmici.

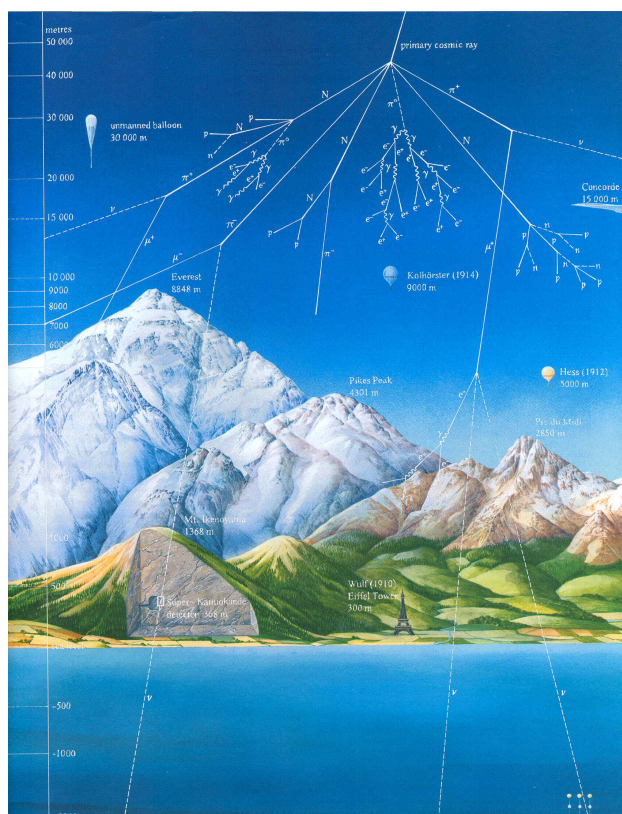
Una finestra sulla “inesauribile ricchezza della natura”

Giulio Peruzzi

Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Università di Padova

*International Cosmic Day 2023*  
*Laboratori Nazionali di Legnaro*

## Prologo

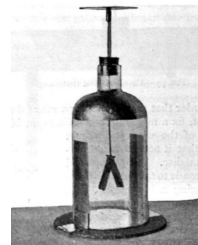


*Ci si rende presto conto [1929 - esperimento di Bothe e Kolhörster] che in realtà **esistono due problemi distinti**: quello della radiazione primaria [...] e quello della radiazione locale. [...]*

*La radiazione locale è accessibile a uno studio diretto e a questo decido di dedicare i miei sforzi con l'entusiasmo di un giovane che, impegnandosi per la prima volta in una ricerca scientifica, si avventura in un terreno pieno di misteri ma anche di promesse.*

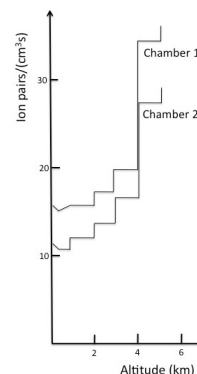
[Rossi, *L'enigma dei raggi cosmici*, 1986]

- XVIII secolo: perché si scarica un elettroscopio?
- Una possibile spiegazione: la radioattività (1896).



Elettroscopio originale [perfezionamenti di Elster e Geitel (1890) e Wulf (1909)]

- Domenico Pacini (1912)
- Victor Hess (1912)



**Contesto** fino alla fine degli anni 1920.

- Solo **tre particelle**: elettrone, protone e (faticosamente si afferma l'esistenza del) fotone.
- 1925-1926: **meccanica quantistica**.
- **Interazioni note**: gravitazione, elettromagnetica e si inizia a pensare che nel nucleo ci siano nuove interazioni (nucleari).

Alcune **domande** in questo contesto:

Bisogna rivedere le idee sulla **costituzione della materia**?

Qual è il numero e la natura delle **interazioni fondamentali**?

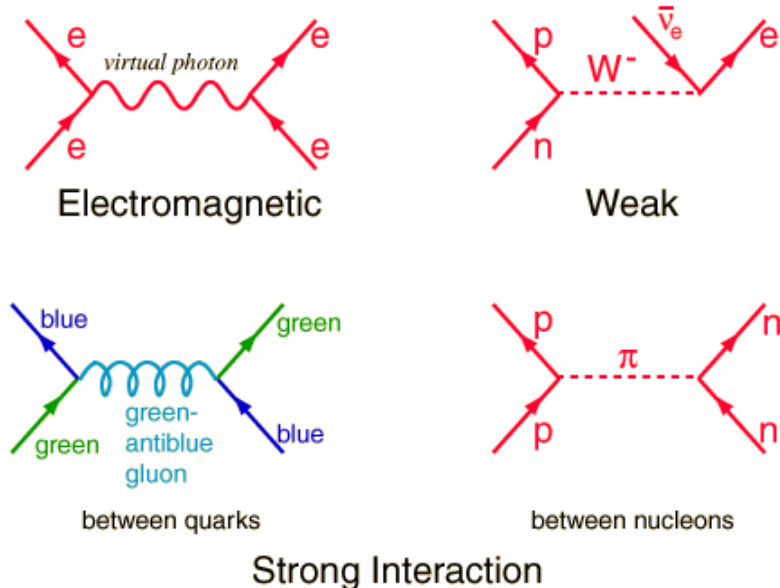
I raggi cosmici svolsero un ruolo cruciale in questi sviluppi (teorici e sperimentali).

Alcuni dei clamorosi risultati tra gli anni 1930 e 1950.

- **1928** Equazione di **Dirac** per l'elettrone (lacune=protoni). Una delle prime proposte che debbano esistere anti-elettroni (lacune=elettroni) è di **Oppenheimer**, nel 1930.
- **1932**: Carl Anderson: **scoperta del positrone** (antimateria). **Conferma e interpretazione teorica** (sulla base della teoria di Dirac) da parte di Beppo Occhialini e Patrick Blackett (**1932-33**).
- **1934**: Oppenheimer e Furry, e indipendentemente Pauli e Weisskopf propongono la **teoria dell'elettrone-positrone come teoria di campo** (creazione e distruzione di particelle).
- **1937**: Carl Anderson con Seth Neddermeyer e Jabez Street con Edward Stevenson **scoprono il muone** (circa 210 volte la massa dell'elettrone). I primi a interpretare questa nuova particella come il **mesone di Yukawa, mediatore delle interazioni nucleari forti**, sono Oppenheimer e Serber.

- **1939-42**: **misura della vita media del muone** (verifica delle previsioni della relatività ristretta).
- **1946**: Marcello Conversi, Ettore Pancini, Oreste Piccioni dimostrano che **il muone non è il mediatore delle interazioni nucleari forti**.
- **1947**: Cecil Powell, César Lattes, Giuseppe Occhialini **scoprono il pione** (circa 270 volte la massa dell'elettrone).
- **1947**: **scoperta del kaone** (Butler, Rochester), la prima particella "strana".
- **1954**: G-stack (Bristol, Copenhagen, Dublin, Genova, Milano, Brussels e Padova), con informazioni complete sui modi di decadimento dei kaoni.

Si gettano in questi anni le basi per il Modello Standard delle particelle, a partire dall'elettrodinamica quantistica. Prima EDQ [Dirac, 1927], prima teoria delle interazioni nucleari deboli [Fermi, 1933], primo schema per le interazioni nucleari [forti] (Yukawa, 1935).



**Bruno Benedetto Rossi** (Venezia, 1905 - Cambridge, USA, 1993)

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 accademica nel 1928 all'Università di Firenze, come assistente di Antonio Garbasso 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, uno dei grandi artefici della rinascita della fisica italiana nel secondo dopoguerra, Giulio Racah, Daria Bocciarelli, Lorenzo Emo Capodilista, Guglielmo Righini e Giuseppe Occhialini. Quest'ultimo darà contributi fondamentali nello studio dei raggi cosmici, considerandosi sempre allievo di Rossi, per quanto solo di due anni più giovane.



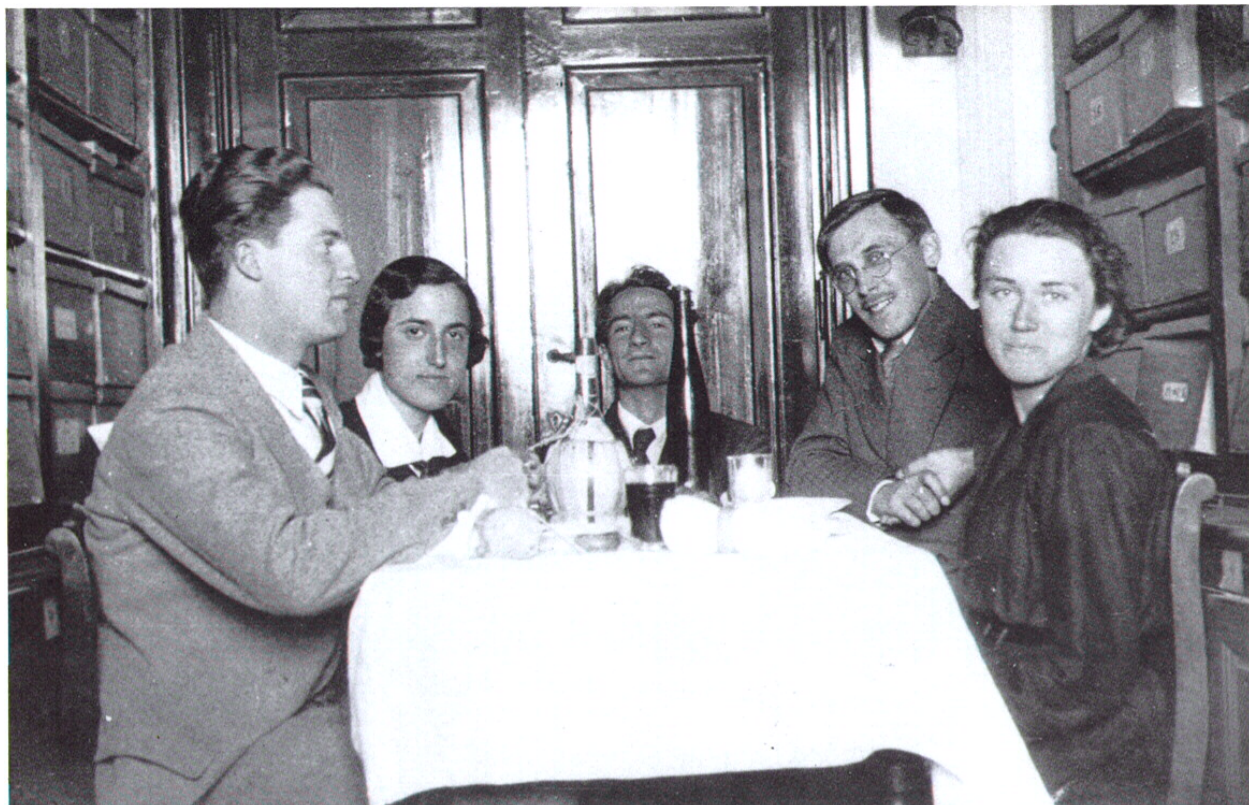
3 Con Gilberto Bernardini (a sinistra) sulla terrazza dell'Istituto.

Bernardini e Rossi ad Arcetri.



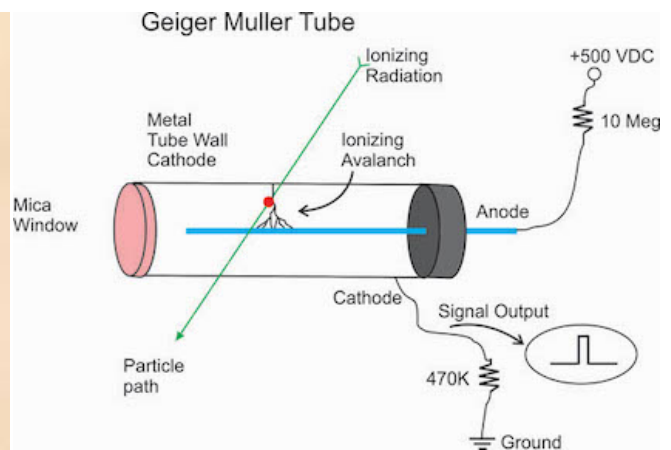
4 Sui gradini dell'Istituto: (da sinistra) Giuseppe Occhialini, Gilberto Bernardini, Daria Bocciarelli. Di fronte, l'autore.

Ingresso Arcetri: Occhialini, Caponi, Bernardini, Bocciarelli, Rossi.



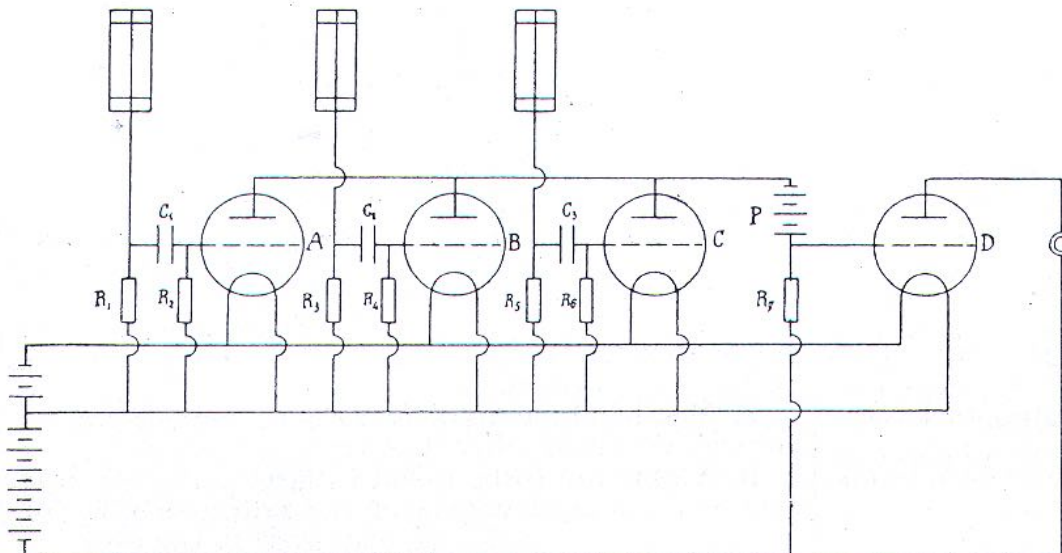
Da sinistra: Lorenzo Emo Capodilista, Beatrice Crinò, Gilberto Bernardini, Attilio Colacevich, Daria Bocciarelli

## Contatori Geiger-Müller (inventati nel 1908, sviluppati nel 1928)



Costituiti da un tubo di metallo con un filo passante sull'asse del cilindro. Il tubo contiene gas a bassa pressione, e una **differenza di potenziale di qualche centinaio di volt** viene applicata tra il tubo e il filo. La tensione non è abbastanza alta da innescare una scarica, ma **se una particella ionizzante attraversa il tubo si produce una scarica che viene registrata.**

La scoperta di Bothe e Kohlhörster è una sfida al quadro interpretativo dominante, una sfida raccolta da Rossi con entusiasmo. In poche settimane 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.



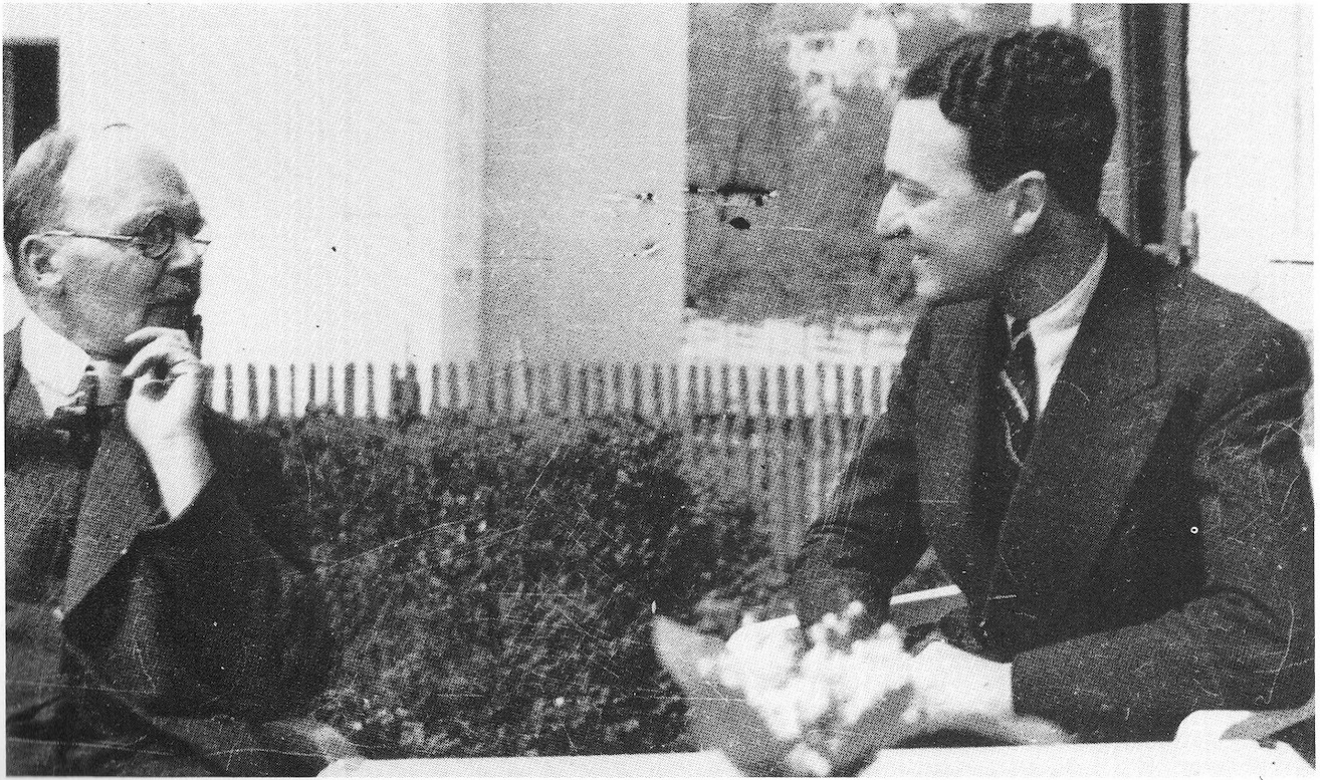
B. Rossi, "Method of Registering Multiple Simultaneous Impulses of Several Geiger's Counters", *Nature* **125** (1930).

Con il nuovo circuito, che fu largamente utilizzato negli anni successivi da Rossi stesso e da moltissimi dei fisici che si interessarono ai raggi cosmici, Rossi evidenziò lo straordinario potere di penetrazione delle particelle della radiazione cosmica attraverso strati di piombo di oltre un metro, e scoprì che la radiazione cosmica produceva nella materia con inaspettata frequenza gruppi di particelle che diventeranno note con il nome di *showers* (sciami).

Sulla base di questi esperimenti Rossi sostenne con decisione, insieme ad altri fisici come Arthur Compton, la tesi corpuscolare, che identificava la radiazione cosmica primaria con un flusso di particelle cariche. Il fronte opposto, Millikan in testa, continuava a considerare la radiazione cosmica primaria come una radiazione  $\gamma$ , cioè radiazione elettromagnetica di altissima energia.



Rossi ad Arcetri in laboratorio a lavoro sui raggi cosmici.

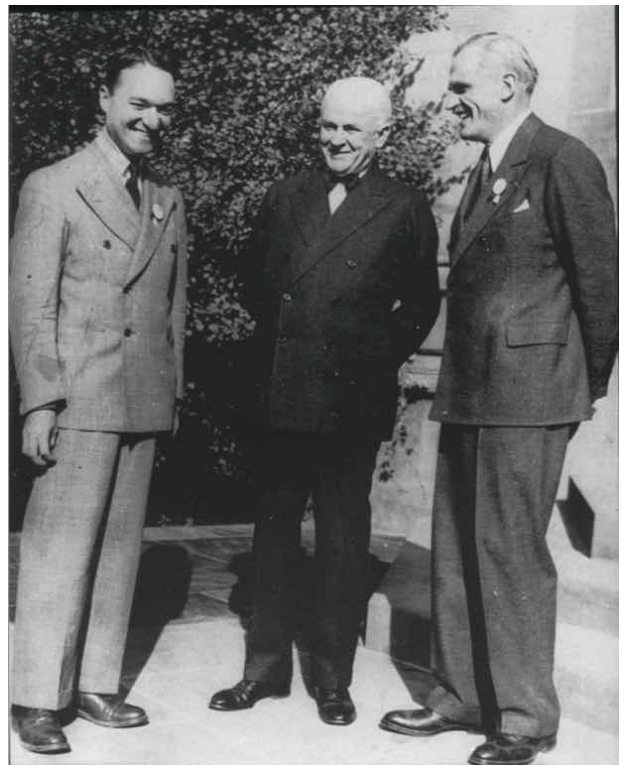


Hans Geiger e Bruno Rossi a Tubinga nell'estate del 1930.

Nell'estate del 1930, con una borsa procuratagli da Garbasso, Rossi prosegue i suoi esperimenti in Germania nel laboratorio di Bothe al Physikalisch-Technische Reichsanstalt di Berlino.

Una possibilità di risolvere la questione (**onda o particella?**) viene proposta da Rossi (1930-31), considerando l'eventuale **azione del campo magnetico terrestre sulla radiazione primaria**.

Se questa fosse costituita da **particelle cariche**, si dovrebbero osservare **due effetti**: una diminuzione dell'intensità della radiazione avvicinandosi all'equatore magnetico ("**effetto latitudinale**"), e un'asimmetria della radiazione rispetto al meridiano magnetico ("**effetto est-ovest**": maggiore intensità della radiazione da **est nel caso di prevalenza di particelle negative**, o da **ovest per particelle positive**).

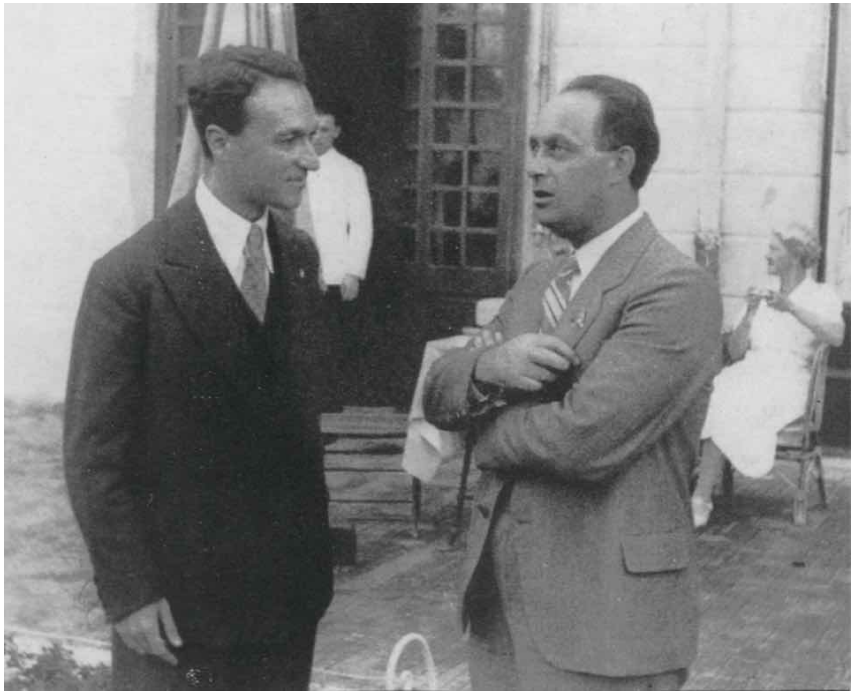


Bruno Rossi, Robert Millikan e Arthur Compton al Convegno di Fisica Nucleare di Roma nel 1931.



Rossi stesso tenta subito una verifica sperimentale a Firenze nel 1931, ma invano.

In un articolo scritto con Enrico Fermi e pubblicato nel 1933, interpreta il risultato negativo sulla base dell'assorbimento atmosferico: alla latitudine di Firenze e al livello del mare non è possibile trovare nessuna asimmetria.



Bruno Rossi con Enrico Fermi al Convegno di Fisica Nucleare di Roma nel 1931.



13 Dopo il convegno di Roma, Walter Bothe e Lise Meitner fecero una breve sosta a Venezia. Qui sono con l'autore sulla spiaggia del Lido.

## Padova (1932-1938)

**1932:** Rossi viene **chiamato sulla cattedra di Fisica Sperimentale**, introducendo la ricerca sperimentale sui raggi cosmici. Per Padova si tratta di un settore completamente nuovo (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 e la ricerca in fisica si tenevano ancora al Palazzo del Bo**, che tra l'altro ospitava dal XVIII secolo anche il Gabinetto di Fisica.

**Ricerca:** raggi cosmici e fisica delle particelle (inizia la costruzione di un acceleratore da 1 milione di volt).

**Didattica:** forma una nuova generazione di giovani e valenti fisici (tra gli altri **Sergio De Benedetti**, **Ettore Pancini** ed **Eugenio Curiel**).

**Organizzazione:** cura la costruzione dell'Istituto di fisica "Galileo Galilei", attuale sede del Dipartimento, uno dei più avanzati dell'epoca sia per concezione, sia per strumentazione.

**1933:** spedizione Asmara (Eritrea).

**Verifica dell'effetto latitudine:** nel viaggio in nave da Spalato a Massaua misura una graduale diminuzione di intensità della radiazione cosmica all'avvicinarsi dell'equatore magnetico (**già osservato** nel 1930 da Jacob Clay e nel 1932 da Compton).

**Verifica dell'effetto est-ovest** (**già osservato**, anche se con minor precisione, da altri nel 1933, in particolare da Thomas Johnson e da Alvarez e Compton): 2370 m. sul livello del mare, latitudine geomagnetica di  $11^{\circ}30'$  nord.



Sempre nella spedizione ad Asmara:

- **prima congettura dell'esistenza** nella radiazione secondaria di grandi sciami di particelle (**sciame estesi**) generati nell'atmosfera, legate alla frequenza di coincidenze tra contatori lontani troppo elevata per essere dovuta solo a coincidenze casuali (**confermata nel 1938-39 da Pierre Auger e Roland Maze**);

- **effetto anomalo di attenuazione dei raggi cosmici nel passaggio in atmosfera**, che solo in seguito (dopo la scoperta del muone del 1937) verrà attribuito al decadimento in volo di particelle.



### III. - Misure sulla distribuzione angolare di intensità della radiazione penetrante all'Asmara

Relazione del prof. BRUNO ROSSI

L'influenza del campo magnetico terrestre sopra la distribuzione di intensità della radiazione penetrante nelle diverse direzioni venne studiata nei pressi dell'Asmara, sull'amba del Forte Baldissera. La situazione del luogo di osservazione era la seguente:

latitudine geografica:  $15^{\circ} 20'$  Nord; longitudine geografica:  $38^{\circ} 55'$  Est; latitudine geomagnetica:  $11^{\circ} 30'$  Nord; altezza sul livello del mare: 2370 m.; pressione barometrica media: 577 mm. Hg; massa superficiale dello strato d'aria sovrastante: 785 g/cm<sup>2</sup>.

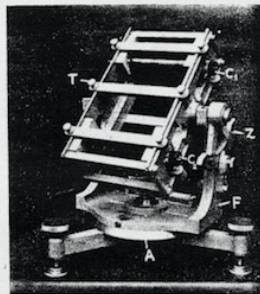


Fig. 8

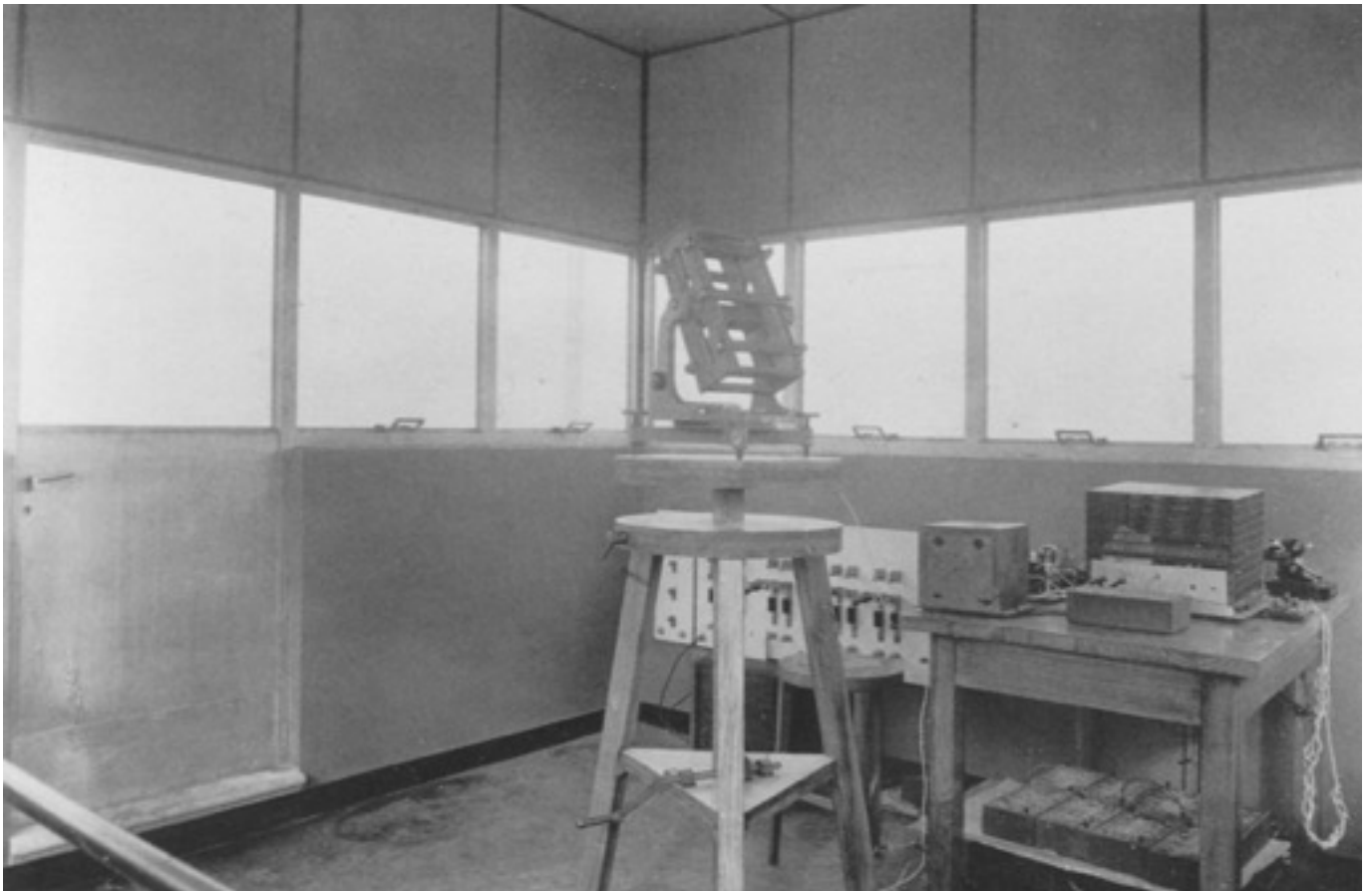
Le misure vennero eseguite col metodo delle coincidenze fra due contatori a tubo di Geiger e Müller collocati ad un'opportuna distanza cogli assi orizzontali e paralleli l'uno all'altro; data la disposizione dei contatori, si poteva ritenere che ogni coincidenza sistematica fosse dovuta al passaggio di un medesimo corpuscolo attraverso i contatori stessi (si potevano trascurare, cioè, le coincidenze dovute a gruppi di corpuscoli secondari generati negli schermi o nei sostegni dei contatori).

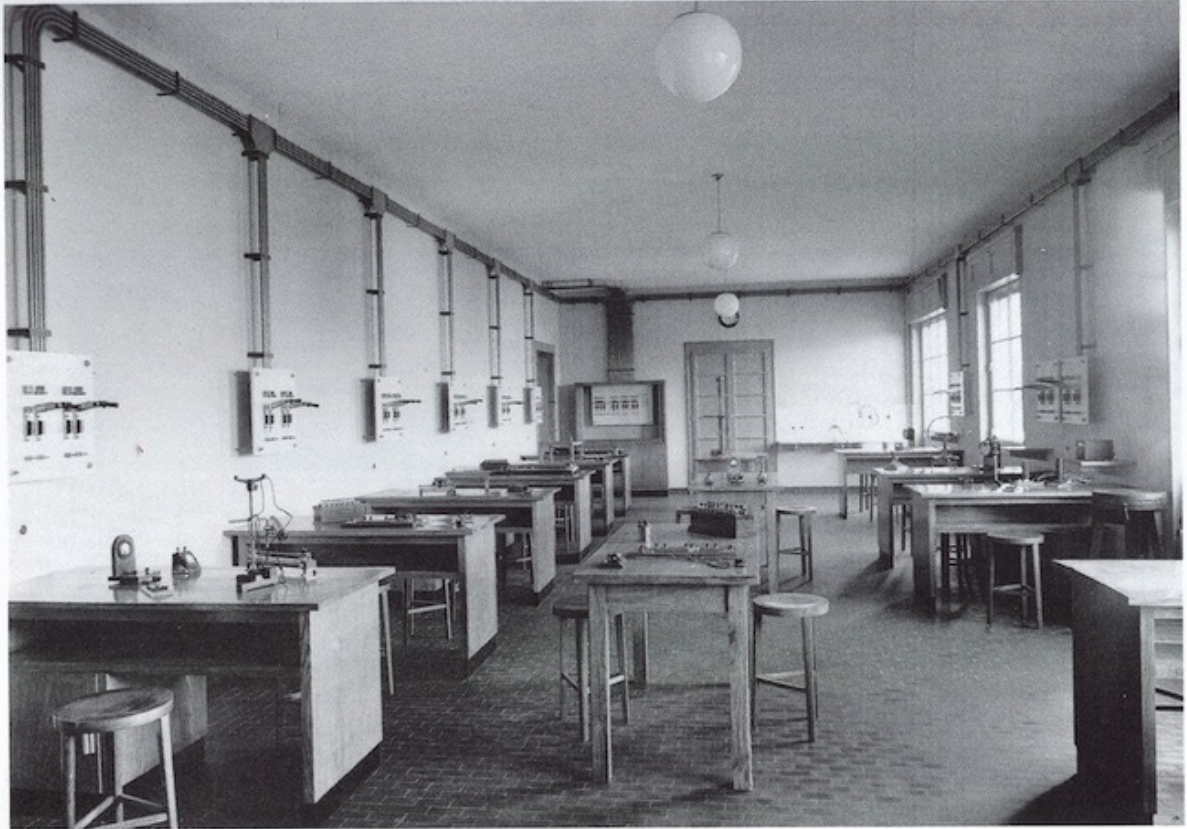
I contatori avevano un diametro interno di 2,4 cm, ed una lunghezza utile di 16 cm.; nella maggior parte delle esperienze essi erano circondati da manicotti di piombo foderati di ottone, aventi una lunghezza di 20 cm., un diametro interno di 3,3 cm. ed uno spessore di parete di 1,7 cm. di Pb + 0,1 cm. di ottone (oppure di 1,6 cm. di Pb + 0,2 cm. di ottone).

La fig. 8 rappresenta il supporto dei contatori. Questi (C, e C<sub>2</sub>) sono



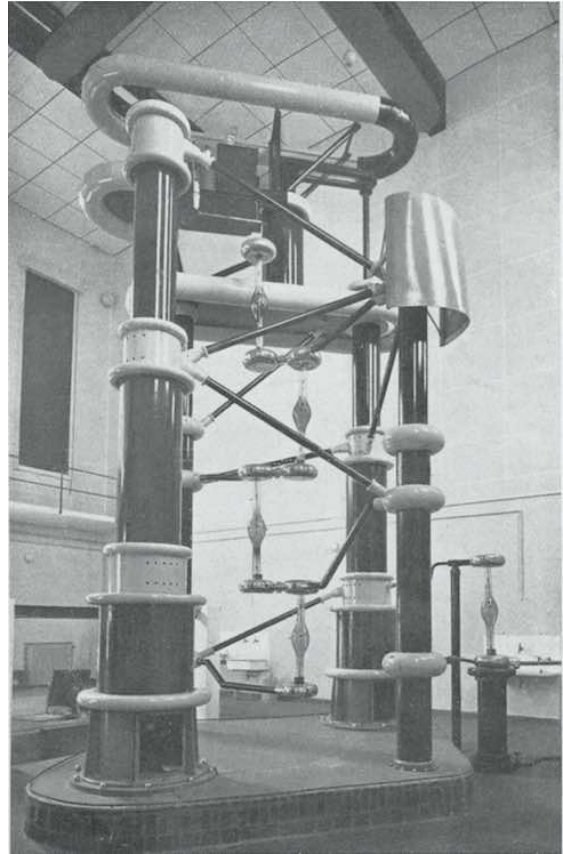
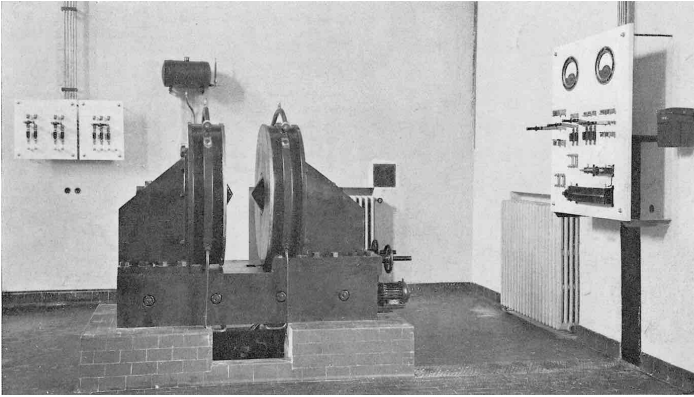
16 *Il nuovo Istituto di Fisica dell'Università di Padova.*





17 Istituto di Fisica di Padova. Laboratorio di esercitazioni per gli studenti.





- **Aprile 1938:** Bruno Rossi sposa Nora Lombroso, nipote del noto antropologo Cesare Lombroso.
- **Settembre 1938:** Rossi viene privato della sua cattedra a causa delle infami leggi fasciste sulla razza.

*“Sì, nel settembre del 1938 arrivano le leggi razziali, e ricevo quel documento che conservo ancora in cui si dice che possono fare a meno di me all’università”;*

*decidiamo, mia moglie Nora e io, di andarcene il più presto possibile”.*

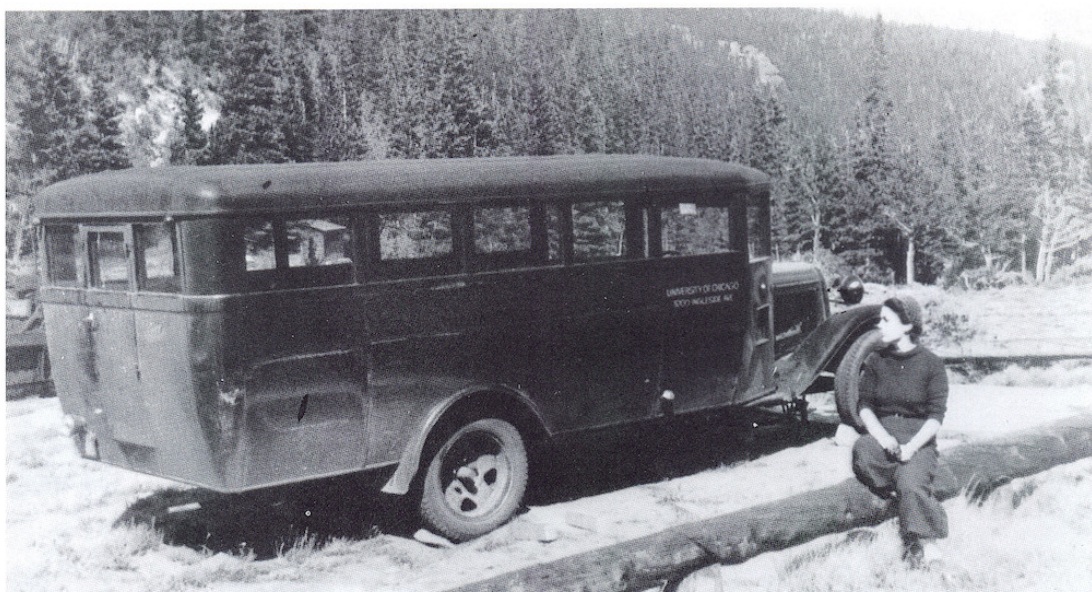
Bruno Rossi, 1986

- **Ottobre 1938**: i coniugi lasciano l'Italia per andare a Copenhagen.
- **Alla fine del 1938** a Manchester da Blackett dove lavora con Lajos (germanizzato in Ludwig) Janossy.

*“mentre eravamo in Inghilterra, ricevetti una lettera di Compton che mi invitava a Chicago [...] Sebbene l'idea di lasciare l'Europa fosse straziante, decidemmo di partire per l'America”.*

Bruno Rossi, 1986

- **Giugno 1939**: da Arthur Compton all'Università di Chicago (spedizione al monte Evans, 4348 m.).
- **Autunno 1940**: da Hans Bethe alla Cornell University di New York.



28 L'autobus a Echo Lake, 1939.

Nora e l'autobus allestito per trasportare l'apparato sperimentale, insieme a una tonnellata di piombo e grafite.

*Compton mi aveva dato un assistente, Norman Hilberry, il quale era orripilato dai miei metodi. Costruivo gli strumenti in modo molto semplice, mettendo delle valvole termoioniche su una tavoletta di legno e congiungendole a mano.*

*“In America le cose funzionano in modo molto diverso”, mi diceva Hilberry, “le mettiamo su strutture di metallo, le montiamo su degli chassis [...]”.*

*Dapprima ero seccato per questo modo di procedere, temevo che non saremmo mai riusciti a finire in tempo, poi presi una decisione: “Tu lo fai col sistema americano e io lo faccio a modo mio”. E alla fine abbiamo adoperato il mio perché il suo non era ancora finito.*

Bruno Rossi, 1986

- **Estate 1943:** Los Alamos dove dirige insieme a Hans Staub il “gruppo dei rivelatori”.

*“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 la scelta non poteva essere basata che sulla necessità di combattere l’immediato pericolo”.*

Bruno Rossi, 1987



*Poco dopo l'esplosione [16 luglio 1945] partii per Los Alamos [...]. Con me in macchina c'erano Benjamin Diven, Otto Frisch e una WAC [Corpo ausiliario femminile dell'esercito]. [...] 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 sarebbe stata usata in una dimostrazione incruenta, per indurre il Giappone alla resa.*

- **Autunno 1945:** MIT di Boston.

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.

**Tre settori di ricerca:** (1) la natura, l'origine e lo spettro di energia della radiazione primaria; (2) il modo in cui i raggi cosmici si propagano attraverso l'atmosfera; (3) l'individuazione di quali nuove particelle vengano prodotte nelle interazioni di alta energia dei raggi cosmici.

La fine degli anni '50, con l'avvento dei grandi acceleratori, segna anche la fine del predominio dei raggi cosmici nelle ricerche sulla fisica delle particelle.

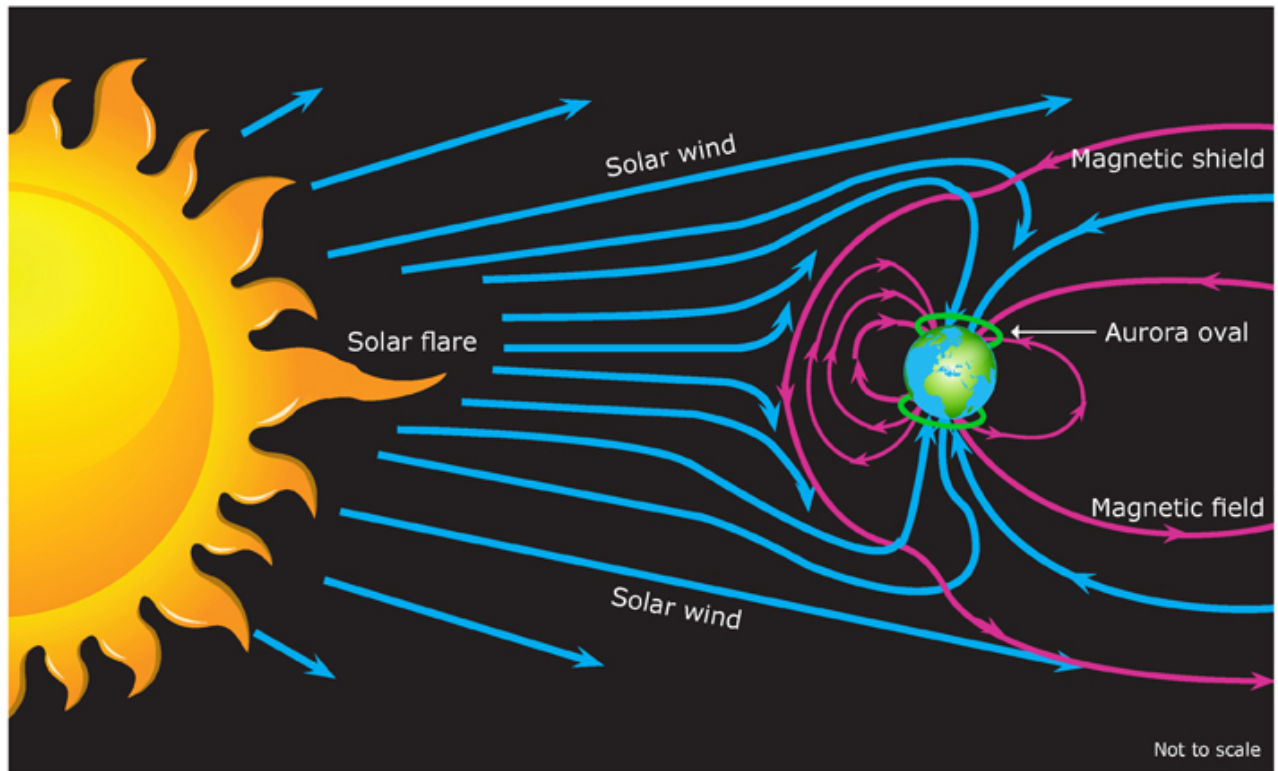
In quegli stessi anni però, per una “fortunata coincidenza” si stavano perfezionando le tecniche dei voli spaziali che “apriranno un campo di ricerca completamente nuovo” (Rossi, 1987, p. 107).

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.

E così Rossi inaugura al MIT due nuovi settori di ricerca: lo studio del plasma interplanetario e la ricerca di sorgenti di raggi X esterne al sistema solare.

Nel primo settore 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” (regione dietro la Terra che è schermata dal vento solare dal campo magnetico terrestre) e la misura delle sue dimensioni.

Nel campo dell'astronomia a raggi X, Rossi insieme a Riccardo Giacconi (allievo di Beppo Occhialini, trasferitosi negli Stati Uniti; premio Nobel per la fisica 2002) e altri colleghi individua nel 1962 la prima sorgente di raggi X esterna al sistema solare.



© Copyright. 2014. University of Waikato. All rights reserved.  
www.sciencelearn.org.nz



49 *L'autore con Bernardini e Fermi a Bagnères-de-Bigorre.*

1953 - Conferenza Bagnères-de-Bigorre con Fermi e Bernardini.



52 C. Powell, D. Skobel'tsyn, l'autore, M. Shapiro e L. Janossy a Mosca.

1959 - a Mosca con Powell, Skobel'tsyn, Shapiro e Janossy.



59 L'autore con Giuseppe Occhialini.

1985 - Con Occhialini a Milano.



7 dicembre 1992, Padova - Ruggero Rossi, Carlo Rubbia (l. ad h. matematica), James Serrin (l. ad h. matematica), Steven Weinberg (l. ad h. fisica)

*... 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

## NOTE BIBLIOGRAFICHE

- Bruno Rossi, *L'enigma dei raggi cosmici*, Montedison Progetto Cultura, Imago, Milano 1986 (riedizione Padova University Press, 2012).
- Bruno Rossi, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987.
- Giulio Peruzzi, “Bruno Benedetto Rossi. Dal Colle di Galileo al MIT”, *Il Colle di Galileo*, vol. 4 (2015), p. 7-26.