



Scienziati d'Italia

Centocinquant'anni di ricerca e innovazione

A cura di Marco Cattaneo

Contributi di Giovanni Battimelli, Carlo Bernardini,
Luisa Bonolis, Giuseppe Bruzzaniti, Pietro Calissano,
Elena Canadelli, Barbara Curli, Valeria delle Cave,
Claudia Di Giorgio, Anna Maria Lombardi, Agnese Mandrino,
Giovanni Paoloni, Telmo Pievani, Francesco Ragusa,
Raffaella Simili, Corrado Sinigaglia





Scienziati d'Italia
Centocinquant'anni di ricerca e innovazione
a cura di Marco Cattaneo

Progetto grafico: studiofluo srl
Impaginazione: Giuseppe Doldo
Coordinamento produttivo: Enrico Casadei

© 2011 Codice edizioni, Torino
ISBN 978-88-7578-270-2
Tutti i diritti sono riservati





I pionieri dei raggi cosmici in Italia: Domenico Pacini e Bruno Rossi

di Luisa Bonolis

La “radiazione dall’alto”

La scoperta dell’esistenza di una radiazione proveniente dallo spazio esterno alla Terra ha le sue origini nella pervicacia con cui all’inizio del Novecento alcuni scienziati cercarono di comprendere per quale motivo strumenti in grado di rilevare radiazioni ionizzanti continuassero a farlo anche dopo essere stati accuratamente schermati. La spiegazione più naturale era che una radiazione così penetrante, in grado di scaricare gli elettroscopi schermati, potesse provenire dalla crosta terrestre, ricca di elementi spontaneamente radioattivi. Alcuni sospettavano invece che un nuovo tipo di radiazione proveniente da sorgenti extraterrestri potesse essere all’origine del fenomeno. Per poter verificare o rigettare queste ipotesi era necessario eseguire misure precise.

Verso la fine degli anni Dieci alcuni coraggiosi ricercatori utilizzarono palloni d’alta quota per portare gli strumenti a migliaia di metri di altezza. Gli strumenti rivelarono che la radiazione ionizzante aumentava invece di diminuire, e nel 1911 il tedesco Victor Hess, arrivando fino a 5000 metri di quota, fu costretto a giungere alla sorprendente conclusione che la radiazione proveniva dall’alto, e non dal basso. Voli successivi effettuati da Werner Kolhörster confermarono che la radiazione penetrante a 9 chilometri di altezza era dieci volte superiore a quella a terra, e che la sua capacità di essere assorbita era molto inferiore a quella dei raggi gamma di origine naturale, i più penetranti conosciuti all’epoca.

Seppure insignito soltanto nel 1936 del premio Nobel per la fisica, Victor Hess è stato universalmente considerato lo scopritore della radiazione extraterrestre, più tardi felicemente denominata *raggi cosmici* dal fisico americano Robert Millikan. Tuttavia negli stessi anni, e forse perfino con qualche anticipo rispetto a Hess, l’italiano Domenico Pacini era giunto indipendentemente alle stesse conclu-



sioni seguendo una linea di ricerca del tutto diversa. Domenico Pacini era nato il 20 febbraio 1878 a Marino (Roma) e si era laureato in fisica nel 1902 presso la facoltà di scienze dell'Università di Roma, dove lavorò per qualche tempo come assistente di Pietro Blaserna, direttore dell'Istituto di fisica di via Panisperna, da lui stesso progettato secondo i più moderni dettami dell'epoca.

Nell'agosto del 1905 Pacini ottenne un posto di ruolo come assistente al Regio ufficio centrale di meteorologia e geodinamica, da cui si dimise poi nel 1928, quando ebbe un incarico all'Università di Bari, dove divenne direttore dell'Istituto di fisica. Il contributo di Domenico Pacini si sviluppò inizialmente lungo tre linee principali di ricerca. La prima riguardava aspetti geofisici, come lo studio della radiazione solare, del magnetismo terrestre e della meteorologia. Le sue ricerche sulla conducibilità elettrica attraverso i gas gli consentirono poi di acquisire una profonda competenza della strumentazione necessaria a misurare i bassi livelli di ionizzazione che si riscontrano nel campo della radioattività ambientale e dell'elettricità atmosferica.

Studi recenti hanno messo in luce in maniera approfondita e sistematica il ruolo svolto da Pacini nell'ambito del problema della ionizzazione residua, che persisteva anche dopo aver schermato accuratamente gli elettroscopi¹. Per stabilire la variazione della velocità di scarica di un elettroscopio (e quindi dell'intensità della radiazione) Pacini effettuò, nel corso del 1910, una serie di misure sulla superficie terrestre e poi confrontò questi dati con quelli ottenuti sulla superficie del mare, nel golfo di Livorno. In disaccordo rispetto al punto di vista dominante all'epoca, i risultati supportavano sostanzialmente l'idea che una parte non trascurabile della radiazione penetrante fosse indipendente dall'emissione del suolo. Pacini concluse che «dai risultati qui ottenuti appare che una parte non piccola della radiazione penetrante presente nell'aria, e in modo particolare quella parte che è soggetta ad oscillazioni anche notevoli, ha origine indipendente dall'azione diretta delle sostanze attive contenute negli strati superiori della crosta terrestre».

L'anno successivo, nel giugno 1911, Pacini mise a punto una tecnica per misurare l'intensità della radiazione in profondità, racchiu-

¹ A. De Angelis, *Domenico Pacini, Uncredited Pioneer of the Discovery of Cosmic Rays*, in "Rivista del Nuovo Cimento", 33, 2010, pp. 713-756; P. Carlson e A. De Angelis, *Nationalism and Internationalism in Science: The Case of the Discovery of Cosmic Rays*, in "European Physical Journal H", 35, 4, 2010, pp. 309-329; A. De Angelis, *L'enigma dei raggi cosmici. Le più grandi energie dell'universo*, Springer Verlag, Milano 2012.



dendo l'apparecchio in una scatola di rame per poterlo immergere alla profondità di 3 metri dalla superficie del mare (e a 8 metri di distanza dal fondo). Per la prima volta veniva introdotta la tecnica di misurazione della radiazione sott'acqua. L'esperienza fu eseguita a 300 metri dalla costa livornese, nello stesso luogo dell'anno precedente, utilizzando il cacciatorpediniere Fulmine. Con lo stesso dispositivo eseguì nuove osservazioni di questo tipo anche nel lago di Bracciano, a nord di Roma, trovando di nuovo che la radiazione si attenuava di circa il 20% in profondità. Pacini metteva quindi in evidenza che nelle condizioni in cui erano state condotte entrambe le esperienze «l'azione della superficie e quella del fondo erano trascurabili». In questo stesso periodo Hess stava studiando l'andamento della radiazione con l'altezza, scoprendo che l'elettroscopio si scaricava più velocemente con l'aumentare dell'altitudine. Questi risultati confermavano quanto Pacini stesso aveva scoperto nell'ultima serie di osservazioni riguardo l'esistenza nell'atmosfera di «una sensibile causa ionizzante, con radiazioni penetranti, indipendente dall'azione diretta delle sostanze radioattive nel terreno». Queste ricerche, pubblicate sulla rivista "Il Nuovo Cimento", in una nota intitolata *La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque*, sono state praticamente dimenticate. Pacini morì a Roma il 23 maggio 1934².

La natura dei raggi cosmici

Fino alla fine degli anni Venti gli scienziati che lavoravano sui raggi cosmici si erano principalmente occupati della loro origine extraterrestre e degli aspetti geofisici del fenomeno. Venivano investigate caratteristiche diverse come l'intensità, la distribuzione, l'assorbimento e la diffusione di questa radiazione, mentre la questione riguardante la loro natura non suscitava un reale interesse. In virtù della loro straordinaria capacità di penetrazione, era opinione diffusa che i raggi cosmici fossero in realtà raggi gamma analoghi a quelli emessi da sorgenti radioattive, ma di energia ancora più elevata.

A quel tempo, l'espulsione di elettroni dagli atomi attraverso l'effetto Compton era l'unico processo conosciuto di interazione dei raggi gamma con la materia. Per studiare la radiazione secondaria

² D. Pacini, *La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque*, in "Il Nuovo Cimento", 3, 1912, pp. 93-100.



prodotta dalla radiazione ultra-gamma, i fisici tedeschi Walther Bothe e Werner Kolhörster collocarono due contatori Geiger-Müller uno sopra l'altro, interponendo tra loro spessori crescenti di lastre di piombo, e registrarono il numero di conteggi simultanei segnalati dai due strumenti. Nell'autunno del 1929 pubblicarono un articolo in cui presentavano dei risultati sorprendenti. I contatori segnalavano coincidenze anche in presenza di una lastra d'oro spessa 4 centimetri. Data la bassa capacità di penetrazione degli elettroni Compton, Bothe e Kolhörster ne dedussero che le coincidenze registrate non potevano che essere prodotte da singole particelle elettricamente cariche ed estremamente penetranti, che causavano un segnale in entrambi i contatori dopo aver attraversato l'intera atmosfera. La loro conclusione metteva così in serio dubbio la teoria dei raggi cosmici come radiazione gamma, sostenuta in particolare dal fisico americano Robert Millikan, che li considerava il prodotto della fusione di elementi leggeri nelle profondità dello spazio interstellare.

L'articolo dei fisici tedeschi fu «come un fascio di luce che rivela l'esistenza di un mondo insospettato, pieno di misteri e ancora inesplorato»³ per il giovanissimo Bruno Rossi, appena arrivato all'Istituto di fisica di Arcetri come assistente del direttore, Antonio Garbasso.

Nuove finestre tecnologiche

Bruno Rossi era nato nel 1905 a Venezia, dove aveva trascorso la sua infanzia. Sperimentò precocemente un senso di meraviglia verso il mondo che lo circondava e più tardi andò alla ricerca delle «regolarità, delle relazioni di causa ed effetto», indagando «il mondo nascosto al di là dei nostri sensi, e che ne controlla il comportamento»⁴.

³ B. Rossi, *Cosmic Rays*, McGraw-Hill, Londra 1966, p. 43.

⁴ Tutte le citazioni sono tratte da B. Rossi, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987. La principale informazione biografica su Bruno Rossi è contenuta nella appena citata biografia e in altre note di carattere autobiografico: *Bruno Benedetto Rossi*, in *Scienziati e tecnologi contemporanei*, vol. II, Mondadori, Milano 1974, pp. 436-438; *Early Days in Cosmic Rays*, in "Physics Today", 34, 1981, pp. 35-42; *I miei anni a Los Alamos*, in "Le Scienze", 34, 197, 1985, pp. 36-45. I seguenti lavori di carattere generale saranno integrati di volta in volta da riferimenti bibliografici inerenti a momenti particolari del percorso scientifico di Bruno Rossi: S. D'Agostino, *Alcune considerazioni sull'opera di Bruno Rossi e della scuola fiorentina di fisica nelle ricerche sui raggi cosmici*, in "Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze", 2, 1984, pp. 69-83; M. De Maria, *Il ragazzo di*

Questo sentimento lo guidò più tardi nelle sue scelte alla fine degli anni Venti, quando arrivò fresco di laurea all'Istituto di fisica di Arcetri. L'Istituto si trovava sulla collina di Arcetri, vicino alla villa "Il Gioiello", dove Galileo Galilei aveva trascorso gli ultimi anni della sua vita. Là Rossi trovò Gilberto Bernardini, appena laureato a Pisa e anche lui curioso delle novità che arrivavano dal mondo internazionale. A quel tempo Roma e Firenze erano le roccaforti della fisica moderna, grazie alla presenza di Enrico Fermi ed Enrico Persico, appena installati sulle cattedre di fisica teorica, cattedre nuove di zecca create per loro grazie alla lungimiranza di Orso Mario Corbino, direttore dell'Istituto di fisica romano, con il determinante appoggio dei matematici.

Ad Arcetri c'erano anche alcuni giovani brillanti; i loro nomi sarebbero presto divenuti noti a livello nazionale e internazionale: Giuseppe Occhialini, figlio di Augusto, direttore dell'Istituto di fisica dell'Università di Genova, che avrebbe sempre seguito le orme di Rossi, condividendone gli interessi fino al termine della sua vita scientifica; Giulio Racah, un giovane e brillante teorico che, a causa delle leggi razziali emanate poi nel 1938 dal regime fascista, sarebbe emigrato a Gerusalemme, diventando il fondatore di un'importante scuola di fisica, nonché protagonista nel campo della fisica delle particelle elementari; Guglielmo Righini, futuro direttore dell'Osservatorio di Arcetri, e Beatrice Crinò, che diventerà sua moglie; Lorenzo Emo Capodilista, successivamente trasferito a Berkeley, dove diverrà collaboratore di Emilio Segrè; Daria Bocciarelli, che si trasferirà all'Istituto Superiore di Sanità a Roma diretto da Cesare Trabacchi, contribuendo alle pionieristiche ricerche in fisica nucleare che di lì a poco avrebbero caratterizzato l'area romana⁵.

Arcetri, in "Sapere", agosto-settembre 1994, pp. 23-36; *Giornata Lincea in ricordo di Bruno Rossi. Maestro, fisico e astrofisico*, Roma 21 aprile 1994, Accademia Nazionale dei Lincei, 1995; P. Morrison, *Bruno Rossi in Time and Space*, in *Cosmic Ray, Particle and Astroparticle Physics. A Conference in Honour of Bruno Rossi, Giuseppe Occhialini and Bruno Pontecorvo*, 11-13 settembre 1995, Firenze, a cura di A. Bonetti, Accademia Nazionale dei Lincei, 1997, pp. 13-22; G.W. Clark, *Bruno Benedetto Rossi, 13 April 1925. 21 November 1993*, in "Proceedings of the American Philosophical Society", 144, 2000, pp. 329-341; B. Palma e U. Palma, *Bruno Rossi. Venezia 1905-Cambridge MA 1993*, in "Il Nuovo Saggiatore", 21, 5-6, 2005, pp. 35-39; *The Scientific Legacy of Bruno Rossi. A Scientific Colloquium in Honour of Bruno Rossi on the 100th Anniversary of His Birth*, a cura di A. Pascolini, Università di Padova, 2006.

⁵ A. Russo, *Bruno Rossi e la scuola di Firenze*, in *Una difficile modernità. Tradizioni di ricerca e comunità scientifiche in Italia: 1880-1940*, a cura di A. Casella et al., La Goliardica Pavese, Padova 2000, pp. 287-298; L. Scarsi, *Bruno Rossi and the Group of Arcetri*, in "Proceedings

A quell'epoca Enrico Fermi e Franco Rasetti stavano creando a Roma il primo nucleo di un gruppo di giovani che più tardi, dopo la drammatica emigrazione dello sparuto gruppo di padri fondatori della fisica moderna in Italia, avrebbe contribuito a mantenere viva questa tradizione e a svilupparla ai livelli di eccellenza che contraddistinguono ancora oggi la fisica italiana nel mondo. Anche ad Arcetri stava per aprirsi una linea di ricerca che, accanto al filone nucleare, sarebbe diventata una specialità della fisica italiana. I risultati e le straordinarie conclusioni degli esperimenti di Bothe e K \ddot{u} h \ddot{u} ster suscitarono comprensibilmente l'entusiasmo di Rossi, che si mise immediatamente al lavoro insieme a Bernardini, Occhialini e Daria Bocciarelli, costruendo i primi contatori Geiger-M \ddot{u} ller e mettendo a punto quello che diventerà universalmente noto come il circuito di coincidenze "alla Rossi", un dispositivo che integrava contatori e valvole, consentendo di rivelare il passaggio simultaneo di particelle cariche attraverso un numero arbitrario di contatori. Si trattava del primo passo del programma di ricerca di Bruno Rossi, volto a confermare l'ipotesi della natura corpuscolare dei raggi cosmici e a comprendere il comportamento di questa misteriosa radiazione⁶. La tecnica dei contatori Geiger-M \ddot{u} ller introdotta da Rossi fu poi alla base della scoperta della radioattività indotta dai neutroni, effettuata a Roma dal gruppo di Fermi nel 1934⁷.

Come Galileo, che utilizzò le lenti per costruire occhi più potenti per guardare oltre il nostro pianeta, Rossi trasformò il contatore Geiger-M \ddot{u} ller in una specie di telescopio per raggi cosmici, un rivelatore per le particelle provenienti dallo spazio profondo. Le investigazioni di Rossi condotte nel periodo compreso tra il 1930 e la fine del 1932 ebbero un ruolo fondamentale nell'individuare l'esistenza di due componenti di natura assai diversa presenti nei raggi cosmici rivelati al livello del mare: una prima componente dura, in

of the 19th European Cosmic Ray Symposium, Firenze, Italia, 30 agosto-3 settembre 2004", a cura di O. Adriani *et al.*, World Scientific, Singapore 2005; A. Bonetti e M. Mazzoni, *The Arcetri School of Physics*, in *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*, a cura di P. Redondi *et al.*, Società Italiana di Fisica, Bologna 2006, pp. 3-34; N. Zeldes, *Giulio Racah and Theoretical Physics in Jerusalem*, in "Archives for History of Exact Sciences", 63, 3, 2009, pp. 289-323; D. De Santis, *Il genio di Daria per l'hi-tech*, in "Sapere", dicembre 2010, pp. 62-63.

⁶ L. Bonolis, *Walther Bothe and Bruno Rossi: the Birth and Development of Coincidence Methods in Cosmic-Ray Physics*, <http://arxiv.org/abs/1106.1365>, luglio 2011.

⁷ M. Leone, A. Mastroianni e N. Robotti, *Bruno Rossi and the Introduction of the Geiger-M \ddot{u} ller Counter in Italian Physics: 1929-1934*, in "Physis", XLII, 2005, pp. 453-480.



grado di attraversare uno schermo costituito da un metro di piombo (corrispondente a uno spessore superiore a quello dell'atmosfera terrestre) dopo essere stata filtrata da uno schermo metallico spesso 10 centimetri, e una seconda componente molle, generata nell'atmosfera dai raggi cosmici primari e capace successivamente di produrre cascate di particelle in uno schermo di metallo prima di essere assorbita⁸.

Inizialmente il pionieristico lavoro di Rossi non fu del tutto apprezzato né compreso, principalmente per via della mancanza di adeguati strumenti teorici così come di una conoscenza approfondita delle particelle e delle loro interazioni. Enrico Fermi era tra coloro che mostravano il più grande interesse e considerazione per le ricerche pionieristiche di Rossi, tanto da chiedergli di tenere la relazione introduttiva sui raggi cosmici durante il congresso internazionale di fisica nucleare che si svolse a Roma nel 1931, con la partecipazione dei maggiori fisici dell'epoca. Con il determinante appoggio di Fermi, Rossi ebbe la cattedra di fisica sperimentale all'Università di Padova, dove si trasferì alla fine del 1932.

Per verificare la natura corpuscolare dei raggi cosmici, Rossi aveva anche cercato di comprendere cosa accade quando un flusso di particelle cariche, inizialmente isotropico, entra nel campo magnetico della Terra, subendone l'influenza. Nel 1930 aveva così congetturato l'esistenza dell'*effetto est-ovest*, un ulteriore fenomeno geomagnetico che si sarebbe aggiunto all'effetto di latitudine (riguardante una dipendenza della intensità dei raggi cosmici dalla latitudine geomagnetica), già predetto ma non ancora pienamente verificato a quel tempo.

L'effetto est-ovest è più facilmente osservabile alle basse latitudini e ad alta quota. Nell'autunno del 1933, coadiuvato da Sergio De Benedetti, Rossi riuscì finalmente a organizzare una spedizione in Eritrea, programmata già da tempo. Il ritardo con cui furono erogati i fondi fece sì che quando le osservazioni di Rossi e del suo collaboratore Sergio De Benedetti confermarono pienamente l'esistenza dell'effetto est-ovest nell'autunno del 1933, due articoli che riportavano analoghe osservazioni erano già comparsi ad opera di

⁸ M.C. Bustamante, *Bruno Rossi au début des années trente: une étape décisive dans la physique des rayons cosmiques*, in "Archives Internationales d'Histoire des Sciences", 44, 1994, pp. 92-115; L. Bonolis, *First Hints of Electromagnetic Showers in Bruno Rossi's Notebooks*, in *Da Archimede a Majorana: la fisica nel suo divenire*, a cura di E. Giannetto et al., Guaraldi, Rimini 2009, pp. 339-350.



due gruppi statunitensi: quello di Arthur Compton insieme al suo collaboratore Luis Alvarez, e quello di Thomas H. Johnson.

Questi risultati non soltanto costituivano una conferma della natura corpuscolare dei raggi cosmici, ma indicavano che le particelle avevano carica positiva, contrariamente alle aspettative dei sostenitori dell'ipotesi corpuscolare, secondo i quali doveva trattarsi con tutta probabilità di elettroni dotati di energie molto elevate⁹. Nel frattempo il fisico statunitense Arthur Compton, stimolato dalla relazione di Rossi al convegno di Roma, aveva progettato una vasta campagna per la verifica dell'effetto di latitudine. Alla fine del 1933, la natura corpuscolare dei raggi cosmici trovava un'ulteriore e definitiva conferma in una serie di esperimenti condotti in diverse parti della Terra.

I raggi cosmici e la nascita della fisica delle particelle

Nell'estate del 1932, tracce di sciami di particelle erano comparse nelle fotografie scattate a Cambridge da Patrick Blackett e Giuseppe Occhialini utilizzando una camera a nebbia azionata da un circuito di coincidenze alla Rossi. Erano le stesse particelle ad azionare l'espansione della camera, aumentando enormemente l'efficienza di questo dispositivo. Queste osservazioni confermano l'esistenza del fenomeno già messo in evidenza da Rossi.

Nello stesso periodo Carl Anderson, un giovane collaboratore di Robert Millikan, dimostrava l'esistenza dell'elettrone positivo. Blackett e Occhialini, dal canto loro, trovarono che molte tracce da loro fotografate presentavano in modo evidente il fenomeno della formazione di coppie elettrone-positrone. L'osservazione sperimentale dell'antimateria costituiva un'importante prova a sostegno della teoria relativistica dell'elettrone formulata da Paul A.M. Dirac appena pochi anni prima.

La teoria della cascata elettromagnetica, sviluppata da J. Franklin Carlson e J. Robert Oppenheimer e contemporaneamente da Homi J. Bhabha e Walther H. Heitler, fornì la spiegazione degli sciami di particelle osservati in laboratorio: un elettrone in moto accelerato emette un fotone altamente energetico e il fotone a sua volta pro-

⁹ M. De Maria, G. Malizia e A. Russo, *La nascita della fisica dei raggi cosmici in Italia e la scoperta dell'effetto Est-Ovest*, in "Giornale di Fisica", 33, 1992, pp. 207-228.



duce una coppia particella-antiparticella oppure un elettrone Compton. Questi elettroni, insieme alla particella originaria, producono nuovi fotoni e il meccanismo prosegue fino alla completa dissipazione dell'energia primaria.

La teoria della cascata elettromagnetica rappresentava un notevole passo avanti nella comprensione dell'interazione tra raggi cosmici e materia, e tuttavia lasciava irrisolto il problema della componente penetrante dei raggi cosmici, anch'essa rivelata negli esperimenti di Rossi. Questo enigma fu risolto grazie alle ricerche intraprese da Anderson e Seth Neddermeyer: nel 1937 i due studiosi suggerirono infatti l'esistenza di «particelle di carica unitaria e massa compresa tra quella di un normale elettrone libero e quella di un protone». Una particella di massa analoga era stata prevista nel 1935 dal fisico giapponese Hideki Yukawa quale mediatore delle forze nucleari; al momento sembrò quindi ragionevole identificare il mesotrone dei raggi cosmici con la particella di Yukawa. Per il momento tale scoperta costituiva dunque un punto di arrivo e al tempo stesso l'inizio di un lungo cammino per la nascente fisica delle particelle.

Nel frattempo, accanto alle attività di ricerca e didattica, Rossi fu coinvolto anche nella progettazione e nella supervisione della costruzione del nuovo Istituto di fisica di Padova, inaugurato nel 1937. Tuttavia nubi minacciose si addensavano ormai sull'Italia, nubi che nel giro di qualche mese avrebbero spazzato via la nuova realtà creata dalle due nascenti scuole di fisica moderna. Nella primavera del 1938 Hitler visitò l'Italia e nel giro di breve tempo Mussolini e il regime fascista divennero convinti sostenitori dell'antisemitismo nazista. Come ricorda lo stesso Rossi nella sua autobiografia: «Ai primi di settembre appresi che, per effetto di questi decreti, non ero più un cittadino del mio paese e che, in Italia, la mia attività di insegnante e di scienziato era terminata».

Nell'autunno del 1938, quando Bruno Rossi partì insieme alla giovane sposa Nora Lombroso, anche in Italia, come era già avvenuto nella Germania nazista, era iniziata una imponente fuga di cervelli. Edoardo Amaldi parlò di «annullamento del gruppo di ricerca padovano»¹⁰, ma la decimazione toccò ogni settore della scienza e della cultura, ed ebbe effetti sulla popolazione di tutto il territorio

¹⁰ Edoardo Amaldi, *The Case of Physics*, in *20th Century Physics: A Selection of Historical Writings by Edoardo Amaldi*, a cura di G. Battimelli e G. Paoloni, World Scientific, Singapore/River Edge 1998, pp. 168-190.



nazionale¹¹. Edoardo Amaldi, insieme a un piccolo gruppo di fisici, restò quasi solo a fronteggiare la catastrofe. Tuttavia, grazie all'impulso iniziale dato da personalità quali Orso Mario Corbino, Antonio Garbasso, Enrico Fermi, Bruno Rossi, Franco Rasetti e dai loro allievi, e successivamente allo straordinario coraggio con cui Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini si assunsero la responsabilità della "ricostruzione" e dello sviluppo, la fisica moderna italiana sarebbe tornata a fiorire nel dopoguerra e ad evolversi successivamente nella realtà di eccellenza a cui assistiamo ancora oggi.

Una nuova stagione per i raggi cosmici

Durante gli anni Venti e Trenta del Novecento, i tradizionali contatti tra fisici di diverse nazionalità avevano dato vita a relazioni scientifiche e umane molto forti. Proprio questi legami consentirono ai ricercatori in fuga dalla persecuzione nazifascista di rifarsi una vita altrove, in Europa o in America. La corrispondenza di Rossi tra la fine del 1938 e la prima metà del 1939, che testimonia la sua disperata richiesta di aiuto a vari membri della comunità scientifica internazionale, evidenzia bene la tragedia personale di un'emigrazione forzata¹².

Nel dicembre di quel 1938 anche Fermi stava lasciando Roma con la sua famiglia per recarsi a Stoccolma, dove avrebbe ricevuto il premio Nobel. In ottobre aveva accettato il posto offertogli da George B. Pegram al dipartimento di fisica della Columbia University, e che due anni prima aveva rifiutato. I due personaggi di punta della rinascita della fisica moderna in Italia stavano abbandonando per sempre il nostro paese.

Dopo un breve soggiorno a Copenhagen, ospitati da Niels Bohr, a metà dicembre 1938 Bruno Rossi e sua moglie Nora arrivarono a Manchester, dove furono calorosamente accolti da Patrick Blackett e da sua moglie Constance. Insieme ad altri fisici Rossi ebbe modo di ricominciare il suo lavoro di fisico sperimentale su temi di punta

¹¹ L. Orlando, *Physics in the 1930s: Jewish Physicists' Contribution to the Realization of the "New Tasks" of Physics in Italy*, in "Historical Studies of the Physical Sciences", 29, 1, 1998, pp. 141-181.

¹² L. Bonolis, *Bruno Rossi and the Racial Laws of Fascist Italy*, in "Physics in Perspective", 13, 2011, pp. 58-90; L. Bonolis, *Fuga dall'Italia fascista: il caso Bruno Rossi*, in "Sapere", dicembre 2010, pp. 52-61.



che verso la fine degli anni Trenta stavano aprendo una nuova stagione nello studio della radiazione cosmica.

Ma “il gruppo di Manchester” era destinato ad avere una vita brevissima. Nel maggio 1939 la Germania e l’Italia annunciarono la loro alleanza, l’asse Roma-Berlino, e il 22 maggio Hitler e Mussolini firmarono il patto d’acciaio, che consolidava ulteriormente il legame tra i due paesi. La posizione dell’Italia nella politica europea metteva in difficoltà gli italiani rifugiati in Gran Bretagna. All’inizio del mese di giugno 1939 i coniugi Rossi salparono per gli Stati Uniti su invito di Arthur Compton. L’occasione era un simposio sui raggi cosmici che avrebbe avuto luogo a Chicago.

Al convegno di Chicago un’intera giornata fu dedicata al problema dell’instabilità radioattiva dei mesotroni, ma apparve chiaro a tutti che le prove raccolte su questo fenomeno non potevano ancora essere considerate decisive. Il fenomeno del decadimento era familiare ai fisici fin dalla fine dell’Ottocento, quando era stata scoperta la radioattività naturale, un processo nel corso del quale vengono emesse particelle alfa (nuclei di elio), particelle beta (elettroni) e raggi gamma (radiazione elettromagnetica di alta energia). Ora, per la prima volta, i fisici si trovavano di fronte al decadimento spontaneo di una particella e Rossi, ansioso di misurarsi con problematiche all’avanguardia della fisica, si lanciò in una nuova avventura sperimentale. Tra l’estate del 1939 e quella del 1941, nel corso di una serie di spedizioni in alta montagna effettuate con collaboratori di volta in volta diversi, Rossi affrontò il problema del decadimento del mesotrone. Gli eleganti esperimenti condotti da Rossi in quel periodo fornirono la prova definitiva dell’esistenza di tale processo di decadimento, e dimostrarono la dilatazione relativistica della vita media di queste particelle in moto, confermando per la prima volta la teoria di Einstein. Un ultimo esperimento, condotto insieme a Norris Nereson nel 1942, culminò nella prima misura precisa della vita media dei mesotroni a riposo, un risultato già ottenuto con un brillante esperimento da Franco Rasetti, seppure con un valore più lontano da quello attualmente accettato.

Queste ricerche, completate da Rossi durante la guerra, conclusero simbolicamente un’era che egli stesso chiamò «l’età dell’innocenza della fisica delle particelle». Un’epoca che terminò con il passaggio dalla ricerca (in tempo di pace) alla Cornell University, dove Rossi si trasferì nel 1940, al lavoro (in tempo di guerra) prima partecipando al progetto di ricerca sul radar del MIT Radiation Lab e poi



al progetto Manhattan, la colossale impresa finalizzata alla costruzione di armi nucleari che coinvolse migliaia di persone, in particolare una serie di eccellenti fisici europei in fuga dai regimi nazifascisti.

Come molti altri, Rossi avvertiva la minaccia derivante dal delirio di conquista di Hitler, ma nel luglio del 1943, quando Hans Bethe lo invitò a lavorare nel laboratorio segreto di Los Alamos, nel Nuovo Messico, provò un'angoscia profonda: «Rifuggivo dall'idea di partecipare allo sviluppo di un ordigno così spaventoso come sarebbe stata la bomba atomica. D'altra parte ero terribilmente preoccupato [...]. 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 [...] occorreva evitare ad ogni costo che Hitler avesse la bomba prima di noi».

Ma il primo test della nuova arma venne realizzato quando ormai la Germania era vinta, così che dopo il bombardamento nucleare delle città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki nell'agosto del 1945, Rossi decise immediatamente di lasciare i laboratori di Los Alamos e accettò il posto offertogli al Massachusetts Institute of Technology.

Nel frattempo, in Italia, i superstiti avevano condotto importanti ricerche nel solco della tradizione da lui iniziata. I raggi cosmici che cadono gratuitamente dal cielo consentivano di continuare a lavorare anche in condizioni di grande scarsità di mezzi. Alla fine del 1946 vennero resi noti i risultati di un esperimento cruciale eseguito durante la guerra da Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni. L'esperimento forniva chiare indicazioni sulla natura del mesotrone dei raggi cosmici, indicando che non poteva essere il mediatore delle interazioni nucleari, come si era creduto fino a quel momento. Questo lavoro è stato considerato l'atto di nascita della moderna fisica delle particelle elementari, perché forniva i primi indizi di una sottostante realtà complessa, che emergerà assai lentamente nel corso dei successivi vent'anni.

L'elettrodinamica quantistica, la teoria che descrive l'interazione di particelle cariche con il campo elettromagnetico, non può da sola descrivere il comportamento di tutte le particelle elementari, che sono anche sottoposte all'azione delle interazioni deboli e delle interazioni forti. Nel 1947 Cecil F. Powell, Cesare Lattes e Giuseppe Occhialini dimostrarono infatti che il mesotrone, subito ribattezzato *muone*, ha una natura simile a quella dell'elettrone, ed è il prodotto del decadimento del mesone π , che interagisce attraverso la forza

nucleare forte. Fino alla metà degli anni Cinquanta i raggi cosmici continuarono a regalare ai fisici un intero zoo di nuove particelle, e l'Europa produsse risultati di grande rilievo nonostante le devastazioni prodotte dal conflitto.

Ma purtroppo ormai il centro di gravità della ricerca si era spostato dall'Europa agli Stati Uniti, dove la comunità dei fisici cominciava a disporre di risorse enormi grazie al favore delle autorità che speravano in nuove ricadute dopo quelle dovute alle applicazioni belliche. Fisici come Enrico Fermi e Bruno Rossi contribuirono allo straordinario sviluppo della scienza americana nel dopoguerra. Oltre a promuovere attività scientifica di altissimo livello e nuove linee di ricerca, essi attrassero e allevarono una nuova brillante generazione di fisici. Molti dei loro studenti e collaboratori sarebbero divenuti premi Nobel per la fisica.

Il *cosmic ray group* fondato da Rossi al MIT divenne, negli anni, un centro di fama internazionale. Nel corso degli anni Cinquanta, quando l'avvento di acceleratori di alta energia mise a disposizione nei laboratori terrestri fasci di particelle per lo studio delle componenti elementari della materia, gli aspetti geofisico e astrofisico ritornarono in primo piano rispetto a quello nucleare e subnucleare, ma i raggi cosmici restarono una fonte incontrastata di particelle di altissima energia. Uno dei cavalli di battaglia del gruppo fu lo studio degli sciami estesi atmosferici, che fornirono importanti indicazioni sull'esistenza di particelle di energie incredibilmente elevate, impossibili da raggiungere in qualsiasi laboratorio terrestre. Mentre la fisica dei raggi cosmici si spostava sempre più verso l'astrofisica, Rossi continuò ad essere uno degli ispiratori di questa nuova linea di ricerca, che lo spinse sempre più a interessarsi all'origine dei raggi cosmici e quindi alle fonti da cui hanno origine le particelle che arrivano dallo spazio, insieme ai meccanismi che le accelerano fino alle altissime energie osservate¹³. Molta luce è stata fatta da allora in questo affascinante campo di ricerca che si colloca all'incrocio tra astrofisica e fisica delle particelle. Ma il problema centrale della fisica dei raggi cosmici rimane ancora oggi aperto. Qual è la loro origine? Come ottengono le loro straordinarie energie?

¹³ G.W. Clark, *The Contributions of Bruno B. Rossi to Particle Physics and Astrophysics*, in *Atti del XXV congresso nazionale di storia della fisica e dell'astronomia*, Milano, 10-12 novembre 2005, SISFA, Milano 2008, pp. R1.1-R1.16; L. Bonolis, *I signori dei raggi cosmici. Dai laboratori terrestri alla fisica nello spazio*, in "La Fisica nella Scuola", quaderno XXII, 2011.

All'inizio dell'era spaziale, inaugurata nel 1957 con il lancio in orbita dello Sputnik russo, Rossi provò lo stesso entusiasmo che lo aveva accompagnato ad Arcetri, e non esitò a compiere il salto verso questa nuova dimensione scientifica, che si rivelò subito di straordinaria ricchezza. La sua capacità immaginativa e la sua straordinaria padronanza delle tecniche sperimentali furono alla base di idee la cui realizzazione ha aperto prospettive e campi di ricerca completamente nuovi nel panorama della fisica moderna e contemporanea.

Esiste sicuramente un'unità profonda nel lavoro di Bruno Rossi, che guida e articola la sua linea di ricerca fino al culmine della sua carriera scientifica all'inizio degli anni Sessanta, quando un'équipe del MIT da lui guidata compì le prime osservazioni che confermarono l'esistenza del vento solare¹⁴ e quando promosse gli studi che portarono alla scoperta della prima sorgente extrasolare di raggi X a circa 9000 anni luce dalla Terra. Questo esperimento spaziale inaugurava l'astronomia a raggi X, uno strumento rivelatosi fondamentale per la comprensione dei processi più svariati in atto nelle profondità dell'universo. Furono gli atti conclusivi di un progetto di ricerca coerente, iniziato trent'anni prima sulle colline di Arcetri, che aveva visto Rossi costantemente alle frontiere della fisica.

Bruno Rossi morì a Cambridge il 21 novembre 1993. Rispettando le sue volontà, le ceneri furono sepolte a Firenze nel cimitero monumentale Porte Sante, che si estende lungo la Basilica di San Miniato al Monte e si trova sulla via per Arcetri, là dove aveva avuto inizio la sua straordinaria odissea scientifica.

¹⁴ L. Bonolis, *Alle origini della fisica spaziale*, in *Relatività, quanti, chaos e altre rivoluzioni della fisica*, a cura di E. Giannetto et al., Guaraldi, Rimini, 2010, pp. 351-356.