

Fuga dall'Italia fascista: il caso Bruno Rossi

Luisa Bonolis

Un'eccezionale avventura scientifica e umana, dagli studi pionieristici sui raggi cosmici ad Arcetri ai successi con il Cosmic Ray Group al MIT di Boston, passando per Los Alamos

Bruno Rossi, uno dei giganti della fisica del XX secolo, è tra i protagonisti di quello che si può definire un vero e proprio miracolo italiano: il fiorire di una nuova generazione di fisici che nel corso degli anni Trenta rinnovarono completamente il panorama della ricerca nel nostro paese grazie alla lungimiranza di alcuni personaggi della vecchia guardia come Orso Mario Corbino e Antonio Garbasso. Le leggi razziste emanate dal regime fascista nel 1938 rappresentarono un evento catastrofico che si abbattè come una scure sulla giovane comunità scientifica italiana. Il caso di Rossi ha dei risvolti particolarmente drammatici. Oltre a essere espulso dall'insegnamento come molti altri, fu brutalmente estromesso dall'Istituto di Fisica di Padova che lui stesso aveva progettato nei minimi dettagli con enorme impegno, facendone una struttura esemplare e moderna, proprio quando si stava accingendo ad avviare nuove ricerche e ad allevare a sua volta una nuova generazione di fisici. Lettere e documenti inediti fanno luce sui quei mesi terribili a cavallo tra il 1938 e il 1939, durante i quali la giovane moglie Nora Lombroso, il suo amore per la fisica e la solidarietà di molti membri della comunità internazionale, fornirono a Bruno Rossi il coraggio di iniziare una nuova vita a Copenhagen, Manchester e nel Nuovo mondo. Quando Mussolini si unì a Hitler nel suo folle disegno di conquistare il mondo, Rossi era già uno scienziato internazionalmente molto noto grazie alle sue pionieristiche ricerche nel campo della fisica dei raggi cosmici. Con la sua emigrazione forzata dall'Italia Rossi entrò a far parte di quel piccolo gruppo di scienziati del ventesimo secolo che, nello sconvolgere la visione dell'universo e cambiare la storia dell'umanità, vissero in prima persona la contraddizione di essere vittime di tiranni e allo stesso tempo abili artefici di nuove, terribili armi. È proprio in questo senso che le atti-

vità scientifiche di Rossi e la sua storia personale sono strettamente intrecciate con gli eventi storici più rilevanti del secolo scorso (1).

Raggi cosmici e particelle negli anni Trenta in Italia

All'inizio degli anni Trenta, quando Bruno Rossi divenne il pioniere delle ricerche sui raggi cosmici in Italia, Enrico Fermi stava formando a Roma il gruppo con cui avrebbe condiviso i successi ottenuti nel campo della fisica nucleare, in riconoscimento dei quali egli ricevette il Premio Nobel nel 1938. Dopo aver compiuto una parte dei suoi studi di fisica a Padova, Rossi si laureò a pieni voti all'Università di Bologna alla fine del 1927, iniziando la sua carriera accademica all'Università di Firenze nei primi mesi del 1928. L'Istituto di Fisica, diretto da Antonio Garbasso, si trovava sulla collina di Arcetri, vicino alla villa "Il Gioiello" dove Galileo Galilei aveva trascorso gli ultimi anni della sua vita. Ad Arcetri Rossi trovò un piccolo gruppo di giovani studenti con i quali instaurò un rapporto molto informale: «Erano collaboratori, amici più che allievi», come scrisse più tardi.

Nel corso dei primi due anni ad Arcetri, Rossi esplorò diverse linee di ricerca, nessuna delle quali aveva un vero obiettivo. Il ventitrenne Rossi non voleva accontentarsi di progetti modesti: «La mia attività doveva rivolgersi ai problemi fondamentali della fisica contemporanea, doveva mirare alla scoperta dei segreti della natura» [1, p. 6] (2). Finalmente, la lettura di un articolo di Walther Bothe e Werner Kolhörster fu «come un fascio di luce che rivela l'esistenza di un mondo insospettato, pieno di misteri e ancora inesplorato» [5, p. 43].

Nel loro articolo intitolato "Das Wesen der Höhenstrahlung" [La natura della radiazione dall'alto], apparso nell'autunno



Bruno Rossi con la moglie Nora Lombroso sul monte Evans, in Colorado, nel 1939 (cortesia Famiglia Rossi).

del 1929, Bothe e Kolhörster presentavano i risultati principali delle loro ricerche sui raggi cosmici, una radiazione di origine extraterrestre, fortemente penetrante, la cui esistenza era stata confermata già nel corso degli anni Dieci del Novecento. La loro conclusione escludeva che si trattasse di radiazione gamma, come si pensava a quel tempo, e ne suggeriva invece la natura corpuscolare [6] (vedi box a pag. 54). I risultati e le straordinarie conclusioni degli esperimenti di Bothe e Kolhörster suscitarono l'entusiasmo di Rossi. Concentrandosi sui nuovi problemi sollevati da questo lavoro, Rossi sentì che un progetto di ricerca in tale ambito poteva essere decisamente alla sua portata: «Che cosa erano, infatti, questi corpuscoli della radiazione cosmica? Erano particelle della stessa natura delle particelle già note, solo dotate di maggiore energia? O erano particelle di natura completamente diversa? E quali erano le loro proprietà? Problemi di questo genere erano quelli che avevo sognato di affrontare all'inizio della mia carriera di ricercatore. Ora il mio sogno prometteva di avverarsi» [1, p. 9]. Con questa scelta egli era destinato a collocarsi all'avanguardia della ricerca scientifica di quel periodo.

Immediatamente Rossi si mise al lavoro insieme al suo collega Gilberto Bernardini e ad alcuni giovani studenti come Giuseppe Occhialini e Daria Bocciarelli, costruendo i primi

contatori Geiger-Müller e mettendo a punto quello che diventerà universalmente noto come “il circuito di coincidenze alla Rossi” (3).

In effetti, se l'invenzione del contatore Geiger rappresentava l'apertura di «una nuova finestra tecnologica» nella fisica dell'epoca – come disse Rossi – una ulteriore svolta decisiva fu la progettazione di un circuito che integrava contatori Geiger e valvole elettroniche.

Questo dispositivo consentiva di rivelare il passaggio simultaneo di particelle cariche attraverso un numero arbitrario di contatori, migliorando notevolmente il potere risolutivo temporale rispetto al metodo dei fisici tedeschi (vedi lo schema del circuito di coincidenze a p. 55). Tale invenzione può essere considerata come il 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 radiazione. Munito del circuito di coincidenze, che divenne uno strumento essenziale per la successiva ricerca in questo settore, Rossi cercò inizialmente di verificare se i raggi cosmici fossero dotati di una carica elettrica, indagando il loro comportamento in presenza di campi magnetici. All'epoca Rossi non poteva sapere che la radiazione cosmica a livello del mare contiene particelle di carica sia positiva che negativa, così che

gli esperimenti da lui effettuati con barre magnetizzate non furono in grado di fornire risultati chiari in questo senso (vedi il disegno della lente magnetica a p. 55).

Ma se i raggi cosmici erano particelle cariche, si poteva anche analizzare il loro comportamento in presenza del campo magnetico terrestre. Questa analisi portò Rossi a prevedere l'esistenza del cosiddetto "effetto Est-Ovest", che egli tentò di rivelare alla latitudine di Arcetri, dove tuttavia non esistevano le condizioni adatte per tale verifica; qualche anno dopo questa linea di ricerca avrebbe effettivamente fornito i risultati sperati (vedi box a pag. 56).

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 grado di attraversare uno schermo costituito da un metro di piombo (corrispondente ad uno spessore superiore a quello dell'atmosfera terrestre) dopo essere stata filtrata da uno schermo metallico spesso dieci 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 assorbita (vedi la figura della disposizione a triangolo a p. 55). Questo effetto era talmente al di fuori delle conoscenze e dell'esperienza dell'epoca che l'articolo di Rossi fu respinto dalla rivista *Die Naturwissenschaften*, e successivamente pubblicato su *Physikalische Zeitschrift* grazie all'interessa-

La natura dei raggi cosmici

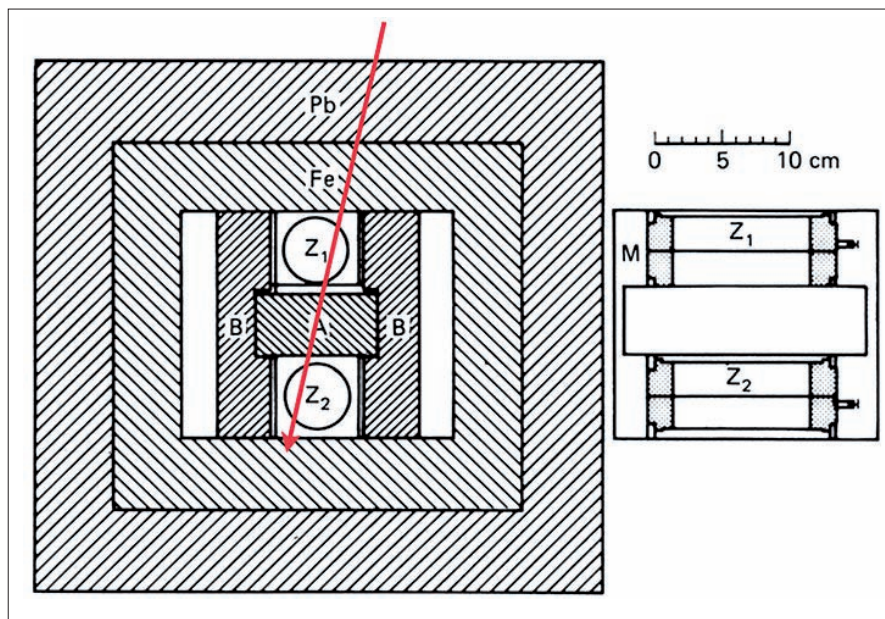
Fino alla fine degli anni Venti, gli scienziati che lavoravano sui raggi cosmici si erano principalmente occupati della loro origine extraterrestre e degli aspetti geofisici del fenomeno. Restava aperto il problema della natura di tale radiazione, un punto che non suscitava molto interesse dal momento che era opinione diffusa che la risposta fosse già nota. I raggi cosmici erano caratterizzati da un potere di penetrazione decisamente superiore a quello di qualunque altra radiazione conosciuta. Di conseguenza, si pensava che non potessero che essere raggi gamma di energia molto elevata, analoghi a quelli emessi da sorgenti radioattive. Si sapeva infatti che i raggi gamma causano fenomeni di ionizzazione per mezzo di particelle cariche secondarie generate nella materia. 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. Il fenomeno, osservato per la prima volta da Arthur H. Compton nel 1922, consiste nell'urto elastico tra fotoni ed elettroni, durante il quale i primi si comportano a tutti gli effetti come particelle (seppur prive di massa) dotate di una data quantità di moto, e cedono parte della loro energia ai secondi per emergere poi dall'urto con una lunghezza d'onda inferiore a quella iniziale. Ci si aspettava quindi che i raggi gamma cosmici che attraversavano la materia fossero accompagnati da un flusso di elettroni secondari poco penetranti, i presunti agenti ionizzanti rivelati dagli strumenti di misura. Uno studio diretto di tale radiazione corpuscolare avrebbe potuto dunque gettare nuova luce sulla natura dei raggi cosmici. L'ipotesi che chiamava in causa i raggi gamma fu sottoposta a veri-

fica per la prima volta in un fondamentale esperimento che si avvaleva di uno strumento nuovo di zecca, appena sviluppato da Hans Geiger e Wilhelm Müller. I due fisici tedeschi Walther Bothe e Werner Kolhörster collocarono due contatori Geiger-Müller uno sopra l'altro interponendo tra loro una spessa lastra di oro e registrarono il numero di conteggi simultanei segnalati dai due strumenti al passaggio di un singolo corpuscolo.

Data la bassa capacità di penetrazione degli elettroni Compton, questi avrebbero

dovuto essere completamente catturati da un materiale assorbente, anche molto sottile, posto tra i due strumenti di rivelazione. Al contrario, i due fisici osservarono con enorme stupore che i presunti elettroni secondari erano in grado di attraversare la spessa lastra di un metallo assai denso come l'oro. Alla luce dei risultati ottenuti, Bothe e Kolhörster ne dedussero che le coincidenze registrate potevano essere prodotte unicamente da singole particelle ionizzate che attraversavano entrambi i contatori; ciò escludeva la possibilità che le particelle cariche messe in evidenza con il loro esperimento potessero essere i poco penetranti elettroni secondari, prodotti per effetto Compton.

L'apparato sperimentale usato nel 1929 da Walther Bothe e Werner Kolhörster per verificare la natura dei raggi cosmici. Le coincidenze tra i due contatori Z_1 e Z_2 sono prodotte da raggi cosmici che attraversano entrambi i contatori. Le osservazioni furono fatte con e senza l'assorbitore di oro. Le coincidenze osservate dimostravano l'esistenza di particelle capaci di attraversare 4,1 cm di un metallo ad alta densità.

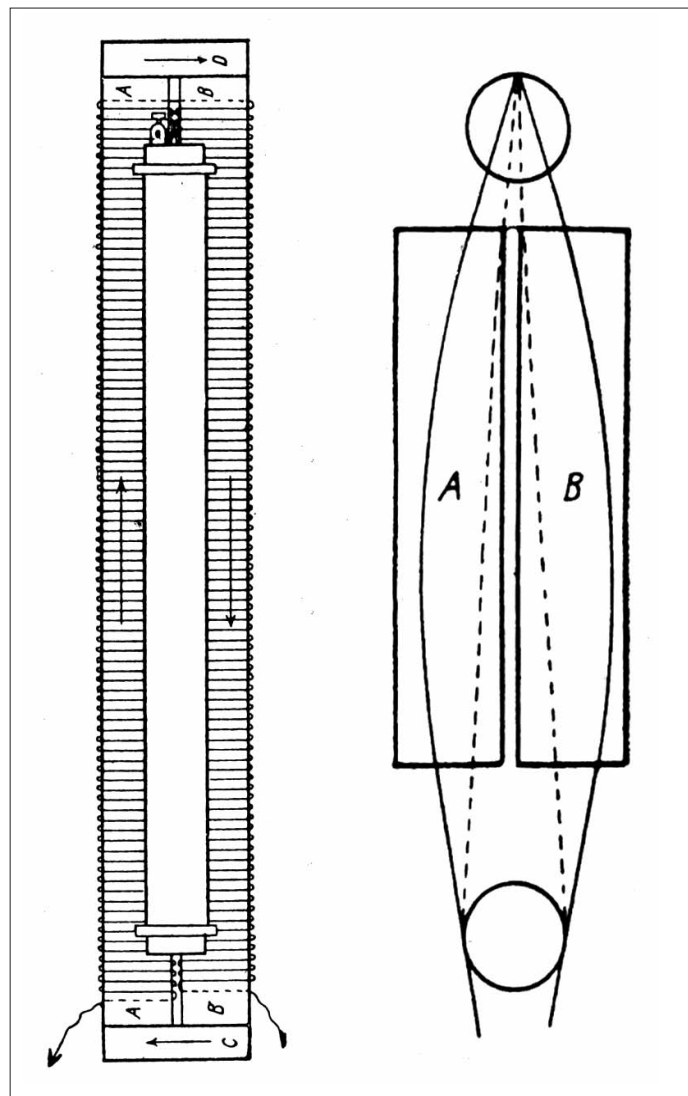


mento di Werner Heisenberg, anche lui, estimatore del lavoro di Rossi, come altri fisici teorici dell'epoca.

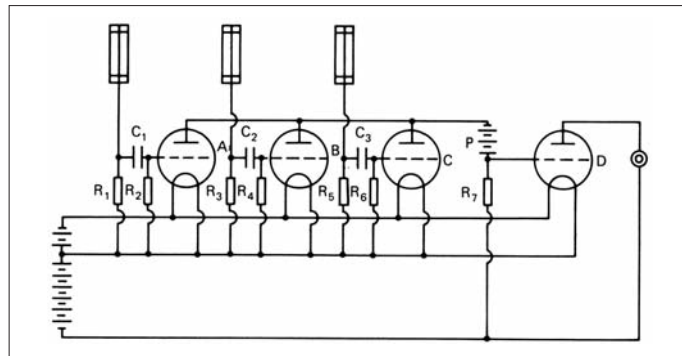
Tuttavia, il lavoro di Rossi non fu sempre del tutto apprezzato né compreso, principalmente per via della mancanza di adeguati strumenti teorici così come di una conoscenza approfondita delle particelle e delle loro interazioni. D'altra parte, è bene ricordare che all'inizio degli anni Trenta le uniche particelle conosciute erano il protone e l'elettrone, insieme al fotone. Enrico Fermi era tra coloro che mostravano il più grande interesse e considerazione per le ricerche pio-

neristiche 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. Inoltre, nel giugno del 1932, quando Rossi partecipò ad un concorso per una cattedra di fisica sperimentale all'Università di Ferrara, Fermi, che era un membro della commissione giudicatrice, si impose perché entrasse nella terna, nonostante Emilio Segrè, suo stretto collaboratore e allievo, fosse tra i candidati.

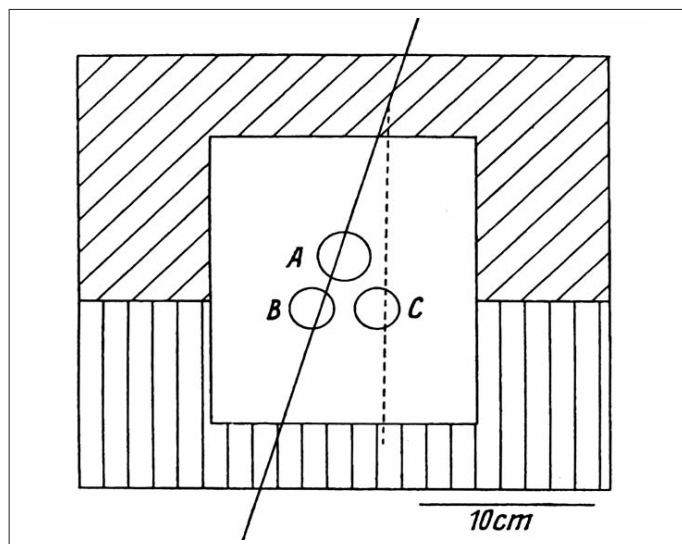
La lente magnetica costruita da Bruno Rossi su suggerimento di Luigi Puccianti. Il dispositivo consiste in un circuito magnetico chiuso, formato da due sbarre di ferro magnetizzate in senso opposto, e da due contatori collocati sopra e sotto il magnete. A seconda della direzione della magnetizzazione e del segno della carica dei corpuscoli, quelli che attraversavano il contatore superiore sarebbero stati concentrati sul contatore inferiore o allontanati da esso.



Circuito di coincidenze messo a punto da Bruno Rossi nel 1930. Soltanto quando le griglie di tutti i triodi vengono portate simultaneamente a un potenziale negativo dalle coincidenti scariche di tutti i contatori, la resistenza complessiva dei triodi acquista un valore maggiore di quello della resistenza R_7 , così che a monte di questa resistenza si produce un impulso di potenziale che viene così inviato a un elettrometro, le cui deviazioni vengono registrate fotograficamente.



Disposizione a triangolo che consentì a Rossi di dimostrare l'esistenza di una radiazione secondaria prodotta dai raggi cosmici nella materia. Per produrre una coincidenza sono necessarie almeno due particelle cariche che emergono simultaneamente dallo schermo di piombo. Una di loro può essere una particella primaria, ma l'altra deve necessariamente essere stata prodotta nel piombo.



Il “disastro della fisica” in Italia

Quando Rossi si trasferì a Padova nel 1932 per ricoprire la cattedra di fisica sperimentale, le crescenti responsabilità gli impedirono di dedicare tutto il suo tempo alla ricerca. Del resto, egli amava molto l'insegnamento e vi dedicava volentieri buona parte del suo tempo. Accanto alle attività di ricerca e di didattica, Rossi fu coinvolto anche nella progettazione e nella supervisione alla costruzione del nuovo Istituto di Fisica, inaugurato nel 1937. In seguito ricordò così quei giorni: «Varie circostanze ostacolarono la mia attività scientifica nella seconda metà degli anni Trenta. Fra queste, la più importante fu indubbiamente la preoccupazione per la minacciosa situazione internazionale e per l'incipiente campagna antisemita in Italia; preoccupazione che mi impediva di concentrare la mente sulla fisica. Nella primavera del 1938 Nora, entrando nella mia vita, vi aveva portato un momento di sollievo. Ma poi, coll'avanzare dell'estate, le ragioni d'allarme si erano moltiplicate. In Europa appariva sempre più vicina una guerra... In Italia cominciarono a uscire i decreti-legge coi quali gli ebrei venivano privati, ad uno ad uno, dei loro diritti di

italiani» [1, p. 32]. Appena sposati, Bruno e Nora chiusero gli occhi di fronte a quanto accadeva intorno a loro, e iniziarono a progettare la loro vita insieme affittando un appartamento e facendo piani per quella che pensavano sarebbe stata la loro esistenza a Padova. In quel periodo il nuovo Istituto di Fisica era stato inaugurato e Rossi era, a ragione, estremamente fiero del suo lavoro. Ma altri ne avrebbero usufruito e, per quanto lo riguardava, il tempo e gli sforzi fatti per costruirlo sarebbero andati sprecati. Quando Hitler era salito al potere nel 1933, gli ebrei tedeschi erano divenuti subito il bersaglio di una violenza inaudita da parte degli attivisti del partito di maggioranza. Vennero presi provvedimenti ufficiali che escludevano gli ebrei dalla pubblica amministrazione e dall'esercizio di alcune libere professioni, così come fu ridotto il numero di studenti ebrei nelle scuole e nelle università. Con alcune leggi specifiche venne quindi proibito loro di ricoprire ruoli istituzionali, e presto nessuna professione fu più accessibile. Nell'agosto del 1938 fu disposto che tutti i passaporti appartenenti a cittadini ebrei recassero la lettera stampata “J”, e nel novembre dello stesso anno si proibì ai bambini ebrei di frequentare le scuole pubbliche.

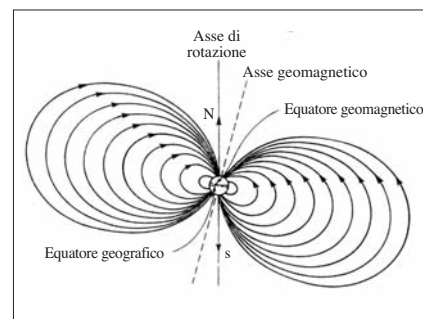
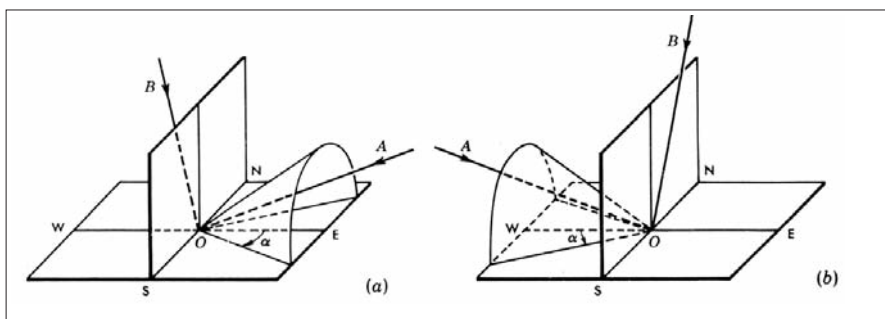
L'effetto Est-Ovest

Qualsiasi particella carica in movimento in un campo magnetico subisce la forza di Lorentz, che agisce in direzione ortogonale rispetto alla direzione del moto. Per effetto di questa forza la traiettoria della particella viene continuamente deviata e ne risulta un moto elicoidale intorno alle linee di forza del campo magnetico se la particella ha una componente della velocità parallela alla direzione del campo. Per verificare la natura corpuscolare dei raggi cosmici, Rossi analizzò quindi il comportamento della radiazione utilizzando le lenti magnetiche e cercò di comprendere cosa accadeva quando un flusso di particelle cariche, inizialmente isotropico, entra nel campo magnetico della Terra. Rossi conget-

turò così l'esistenza di un ulteriore effetto 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. Il cosiddetto effetto Est-Ovest previsto da Rossi nell'estate del 1930 implica un'asimmetria rispetto al piano che contiene il meridiano geomagnetico, con un eccesso nel flusso di particelle provenienti da Est o da Ovest, a seconda a seconda del segno della carica. Rossi stimò in quale misura questo effetto dipende dall'energia delle particelle e dalla latitudine geomagnetica del luogo di osservazione. Infatti, non riuscendo a rilevare la prevista asimmetria ad Arcetri, programmò un viaggio ad Asmara, capitale dell'Eritrea, a quell'epoca colonia italiana, che si trovava ad un'altitudine di 2370 metri e a una latitu-

dine geomagnetica di $11^{\circ} 30' N$. Il progetto fu entusiasticamente supportato da Antonio Garbasso, ma problemi logistici, dovuti anche alla lentezza 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 due gruppi statunitensi: Arthur Compton e il suo collaboratore Luis Alvarez e 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 di questa ipotesi, secondo cui doveva trattarsi con tutta probabilità di elettroni dotati di energie molto elevate.

Rossi scoprì che esisteva una formula trovata da Störmer, secondo cui, per ogni punto della Terra e per ogni energia delle particelle, resta definito un cono il quale separa le direzioni d'incidenza delle particelle le cui traiettorie, seguite a ritroso, vanno all'infinito, dalle direzioni d'incidenza delle particelle le cui traiettorie rimangono sempre nelle vicinanze della Terra. Soltanto le prime sono traiettorie possibili, a meno che non intercedano la Terra. Le direzioni “proibite” sono ad Est o ad Ovest del cono di Störmer, a seconda che le particelle siano cariche positivamente o negativamente. In base a questo risultato Rossi predisse l'effetto Est-Ovest.



In Italia gli ebrei rappresentavano una popolazione di poco più 40.000 persone su un totale di 43 milioni di abitanti; erano cittadini molto ben integrati e non rappresentavano alcun problema sociale. Tuttavia, nella primavera del 1938 Hitler visitò l'Italia; poco tempo dopo, Mussolini e il movimento fascista divennero convinti sostenitori delle politiche antisemite tedesche. Nel luglio del 1938 fu pubblicato il "Manifesto della razza", redatto da alcuni "scienziati" italiani, e i mesi seguenti videro la promulgazione di numerosi editti che privavano gli ebrei italiani dei loro diritti civili. Come nella Germania nazista, anche in Italia ai cittadini ebrei non fu più permesso di occupare cariche pubbliche, specialmente nel settore dell'istruzione, e gli studenti ebrei furono allontanati dalle università e dalle scuole pubbliche; queste politiche erano inoltre sostenute e accompagnate da violente campagne giornalistiche. Non appena le prime leggi razziali entrarono in vigore, Fermi, la

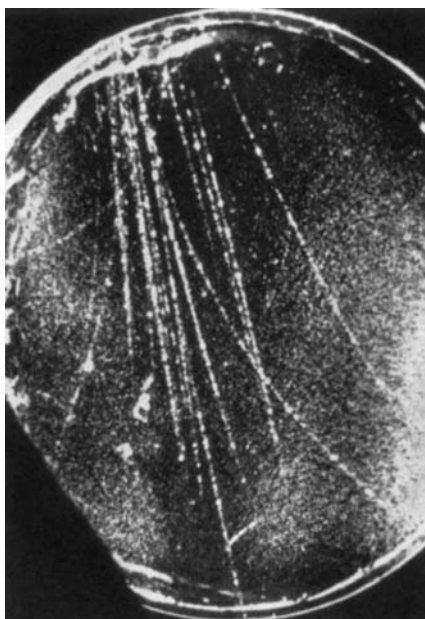
cui moglie Laura era ebrea, contattò le università americane che già da qualche anno gli avevano offerto un posto. Anche Nora Rossi, sensibile alle questioni politiche italiane, si era messa dovutamente in allarme. Le sue preoccupazioni furono confermate dalla proliferazione di provvedimenti antisemiti nel corso del mese di settembre del 1938. 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» [1, p. 32]. Nora Rossi, che aveva «succhiato l'antifascismo con il latte materno», aveva una chiara percezione del serio e imminente pericolo, e per questo motivo insisteva affinché lei e Bruno lasciassero l'Italia quanto prima. Ma non era facile per il marito accettare di abbandonare il "suo Istituto" [1, p. 127]. Molti dei collaboratori e degli studenti di Rossi lasciarono il paese. Edoardo Amaldi parlò di "annulla-

La cascata elettromagnetica

Nell'estate del 1932, sciami di particelle comparvero nelle fotografie scattate da Patrick Blackett e Giuseppe Occhialini utilizzando una camera a nebbia azionata da un circuito di coincidenze alla Rossi, che ne aumentava grandemente l'efficienza. Blackett e Occhialini individuarono in tali insiemi di particelle secondarie prodotte dall'interazione tra i raggi cosmici e la materia la causa delle coincidenze precedentemente rivelate da Rossi con i tre contatori "non allineati". Nello stesso periodo Carl Anderson, un giovane collaboratore di Robert Millikan, dimostrava l'esistenza dell'elettrone positivo. L'osservazione sperimentale dell'antimateria costituiva una 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: gli elettroni e i fotoni di alta energia prodotti dall'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre, nell'incidere sugli assorbitori metallici danno origine alla cosiddetta cascata elettromagnetica, dovuta a processi di *bremstrahlung* e creazione di coppie elettrone-positrone. Un elettrone in moto accelerato

emette un fotone altamente energetico, e il fotone a sua volta produce una coppia particella-antiparticella oppure un elettrone

Sciami di particelle prodotte dall'interazione tra i raggi cosmici e il materiale metallico della camera a nebbia. Il fenomeno era talmente insolito che un articolo inviato da Rossi nel 1932 fu respinto dalla rivista Die Naturwissenschaften e successivamente pubblicato su Physikalische Zeitschrift grazie all'intervento di Werner Heisenberg.



Compton. Questi elettroni, insieme alla particella originaria, forniscono nuovi fotoni. Il meccanismo prosegue fino alla completa dissipazione (per ionizzazione) dell'energia primaria.

La teoria della cascata elettromagnetica lasciava tuttavia 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». Combinando i dati ottenuti da diversi ricercatori, tale massa fu stimata tra le duecento e le trecento volte la massa elettronica.

Una particella di massa analoga era stata prevista nel 1935 dal fisico giapponese Hideki Yukawa quale mediatore delle forze nucleari, sembrò quindi ragionevole identificare il mesotrone dei raggi cosmici con la particella di Yukawa. Soltanto nel 1947 le ricerche di Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni, eredi della tradizione di ricerca aperta in Italia da Rossi, avrebbero definitivamente chiarito che il mesotrone, ribattezzato di lì a poco muone, non si comportava come ci si sarebbe aspettato se fosse stato una "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.

mento” del gruppo di ricerca padovano [7], ma la decimazione toccò ogni settore della scienza e della cultura ed ebbe effetti sulla popolazione di tutto il territorio nazionale.

Rossi aveva scritto al fisico danese Niels Bohr per informarlo che si sarebbe stabilito volentieri a Copenaghen per qualche tempo grazie al suo gentile invito. Questa scelta era piuttosto naturale: quando Hitler era salito al potere, Bohr (il quale era egli stesso per metà ebreo) aveva riconosciuto subito il pericolo rappresentato dalle leggi razziali naziste per gli scienziati tedeschi, e aveva pubblicamente manifestato la sua preoccupazione per le teorie nazionalistiche sulla cultura della razza. Come Albert Einstein, Bohr era tra i maggiori esponenti della comunità scientifica dell'epoca. Einstein in quel periodo era lontano dalla Germania, e decise di non farvi più ritorno; Bohr, insieme al fratello Harald, formò il “Comitato Danese per il Supporto degli Intellettuali Rifugiati” e aiutò molti fisici tedeschi a lasciare la Germania. L'istituto di Bohr divenne così un vero e proprio asilo per i fisici ebrei in fuga dal regime nazista. All'inizio del mese di ottobre del 1938 Carlo Anti, il rettore dell'Università di Padova scrisse a Rossi una lettera vergognosa: «Compio il dovere di avvertirVi che... a datare dal 16 ottobre corrente siete sospeso dal servizio». Del resto, pochi giorni prima il Gran Consiglio Fascista aveva presentato la “Dichiarazione sulla razza”, approvata come legge governativa nel novembre dello stesso anno. A drammatica e imperitura testimonianza di quei giorni terribili, tra le carte di Bruno Rossi figurano alcune pagine dei giornali dell'epoca in cui lui stesso aveva sottolineato il proprio nome negli elenchi delle persone estromesse dalla vita pubblica.

I coniugi Rossi lasciarono l'Italia quello stesso mese. Nora ricorda così la partenza: «... L'ultimo giorno a Padova raggiunsi Bruno in Istituto per trascinarlo via. Ricordo l'ampia scala e noi un po' commossi che scendevamo lentamente, e alla base della scala sostava Mario il portiere in lacrime: “Professore, non lasci: perché? Perché? Non è giusto, non è giusto”. È stato il più dolce saluto che abbiamo ricevuto dal popolo del nostro paese natio» [1, p. 128].

Come già era avvenuto nella Germania nazista, anche in Italia era iniziata una imponente “fuga di cervelli”. Amaldi, insieme a un piccolo gruppo di fisici, restò quasi solo a fronteggiare la

“catastrofe”. Tuttavia, grazie all'impulso 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”, la fisica moderna italiana sarebbe tornata a fiorire nel dopoguerra e ad evolversi successivamente nella realtà di eccellenza a cui assistiamo ancora oggi.

L'interludio di Copenaghen

Durante gli anni Venti e Trenta del secolo scorso, i tradizionali contatti tra fisici di diverse nazionalità aveva dato vita a relazioni scientifiche e umane molto forti. Proprio questi legami consentirono ai ricercatori in fuga dalla persecuzione nazi-fascista di rifarsi una vita altrove, in Europa o in America. La corrispondenza (non pubblicata) di Rossi tra la fine del 1938 e la prima metà del 1939 evidenzia bene la tragedia personale di un'emigrazione forzata. È altrettanto chiaro che le attività di ricerca, insieme al sostegno di una moglie straordinaria, aiutarono Rossi a trovare la forza per iniziare una nuova vita.

Nel dicembre di quel 1938 Fermi stava lasciando Roma con la sua famiglia per recarsi a Stoccolma, dove avrebbe ricevuto il premio Nobel «per aver dimostrato l'esistenza di nuovi elementi radioattivi prodotti dall'irradiazione mediante neutroni e per la scoperta, legata alla precedente, delle reazioni nucleari indotte da neutroni lenti». I pochi amici e collaboratori che li videro partire dalla Stazione Termini sapevano bene che Fermi non sarebbe mai tornato in Italia. 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).

In quei giorni nessuno era in grado di immaginare quali importanti novità fossero sul punto di essere rivelate nel campo della fisica nucleare. Dopo l'annessione dell'Austria alla Germania Lise Meitner, una cara amica di Bruno Rossi, si era dovuta trasferire in Svezia. Era però rimasta in contatto con Otto Hahn, e nel novembre del 1938 lo incontrò segretamente a Copenaghen per discutere insieme degli esperimenti che lui e Fritz Strassman avevano compiuto in sua as-

Il decadimento del mesotrone

Alla fine del 1938, l'interesse di Rossi era decisamente orientato verso i mesotroni, le nuove particelle individuate nel 1937 e associate alla componente penetrante della radiazione cosmica. Partendo da un'analogia con il concetto di “vita media”, introdotto per i decadimenti radioattivi, Homi Bhabha aveva assunto che i mesotroni dovevano essere instabili, disintegrandosi spontaneamente dando luogo ad un elettrone e un neutrino con una vita media dell'ordine del milionesimo di secondo. In un breve articolo, apparso su *Nature* nel dicembre del 1938, Rossi discusse il problema della differenza tra l'assorbimento da parte dell'aria e del piombo della componente penetrante dei raggi cosmici, un aspetto che non era ancora stato spiegato in maniera soddisfacente. Nel suo articolo, Rossi ricordava che, secondo la relatività speciale, nel sistema di riferimento di un osservatore per il quale il mesotrone si muove con una velocità prossima a quella della luce nel vuoto, la durata *apparente* della sua vita media prima del decadimento risulta maggiore di quella valutata dal punto di vista dei mesotroni, ovvero nel sistema in cui essi stessi sono in quiete. In pratica, *a parità di materia attraversata*, solamente attraversando un gas come quello atmosferico le particelle avrebbero avuto il tempo sufficiente per disintegrarsi, prima di raggiungere lo stato di quiete per mezzo della consueta perdita di energia. Infatti, in un mezzo assorbente liquido o solido un mesotrone sarebbe stato arrestato in un tempo molto minore rispetto alla sua vita media di “particella relativistica”. Questa differenza nel fenomeno di assorbimento poteva appunto essere facilmente spiegata attraverso l'ipotesi di disintegrazione.

senza; queste indagini avrebbero condotto all'evidenza della possibilità di fissione del nucleo atomico. Alla vigilia di Natale del 1938 la famiglia Fermi salpò per l'America; pochi giorni prima, Hahn e Strassman avevano inviato a *Die Naturwissenschaften* l'articolo nel quale annunciavano i sorprendenti risultati dei loro esperimenti, immediatamente interpretati da Lise Meitner insieme a suo nipote Otto Frisch come una prova della avvenuta fissione nucleare in un laboratorio. Fermi sarebbe arrivato a New York il 2 gennaio del 1939; nel giro di quattro anni avrebbe realizzato la prima reazione nucleare a catena controllata della storia.

I due personaggi di punta della rinascita della fisica moderna in Italia stavano abbandonando per sempre il nostro paese. Nell'ottobre del 1938 il fisico Patrick Blackett aveva scritto a Rossi una lettera per esprimergli solidarietà e invitarlo a Manchester, in Inghilterra. A quanto sembra, Rossi aveva inviato molte missive per informarsi sulla possibilità di trovare una posizione accademica fuori dall'Italia. In settembre aveva preso contatto con un suo collega del Massachusetts Institute of Technology (MIT); questi gli aveva risposto due mesi dopo spiegando che l'esodo di scienziati dall'Europa centrale aveva già reso molto difficile l'"assorbimento" di nuovi rifugiati, in particolare nelle università. Tuttavia, nel novembre dello stesso anno, Rossi ricevette una lettera dal Segretario Generale della Society for the Protection of Science and Learning (SPSL), il quale era in contatto con Bohr e Blackett: «Speriamo davvero di essere in grado di darle una borsa che le permetta di lavorare con il Professor Blackett per almeno un anno».

Rossi aveva contattato anche Arthur H. Compton, uno dei più influenti fisici statunitensi. Questi gli scrisse una lettera di solidarietà nella quale, oltre a prendere l'impegno di cercare per lui una posizione accademica negli Stati Uniti, lo invitava a un simposio sui raggi cosmici che avrebbe avuto luogo a Chicago nel giugno del 1939. Compton aveva conosciuto Rossi durante la conferenza internazionale organizzata da Fermi a Roma nel 1931, ed era stata proprio la relazione di Rossi a spingere Compton a dare inizio al suo vasto programma di ricerca sulla radiazione cosmica che nel 1933 dimostrò definitivamente l'esistenza dell'effetto di latitudine. Nel corso del tardo autunno 1938 e durante i primi mesi del 1939, Rossi ebbe con lui e con altri un intenso scambio di lettere che testimoniano la sua disperata richiesta di aiuto a vari membri della comunità scientifica internazionale.



Bruno Rossi e la moglie Nora a Echo Lake (Colorado) nel settembre del 1939 (cortesia Famiglia Rossi).

A Manchester con Blackett

Bruno e Nora arrivarono a Manchester a metà dicembre 1938, e furono calorosamente accolti da Patrick Blackett e da sua moglie Constance. Poco dopo l'arrivo dei coniugi Rossi, la SPSL scrisse a Bruno per confermare il sostegno economico della durata di un anno solare.

Nel laboratorio di Blackett, Rossi incontrò Alfred C. B. Lovell, George Rochester, John Wilson e il fisico ungherese Lajos Jánosy, scappato da Budapest per ragioni analoghe a quelle del suo collega italiano. Gli esperimenti sui raggi cosmici condotti all'Università di Man-

chester furono per Rossi un'occasione per «sporcarsi di nuovo le mani con un po' di lavoro sperimentale» [8, p. 184]. Ma «il gruppo di Manchester» era destinato ad avere una vita brevissima. Nel maggio del 1939 la Germania e l'Italia annunciarono la loro alleanza, nota come Asse Roma-Berlino, e il 22 maggio Hitler e Mussolini firmarono il "Patto d'Acciaio", che consolidava ulteriormente il legame tra i due paesi. Dalla corrispondenza appare evidente che Rossi sarebbe partito alla volta di Chicago con l'idea di cercare un'opportunità di lavoro negli Stati Uniti, dal momento che la posizione dell'Italia nella politica europea metteva in difficoltà gli italiani che si erano rifugiati in Gran Bretagna. Lo stesso Blackett era preoccupato e piuttosto pessimista per via della situazione internazionale sempre più tesa, e caldeggiò a sua volta l'ipotesi della partenza dei coniugi Rossi per l'America. Ma la coppia italiana era molto triste al pensiero di lasciare l'Europa e l'Inghilterra, dove grazie ai Blackett aveva trovato una solidarietà, un'umanità e un'ospitalità incredibili [1, p. 45].

All'inizio di giugno, tuttavia, Bruno Rossi e sua moglie Nora Lombroso salparono per gli Stati Uniti d'America.

Il Nuovo Mondo

Quando i coniugi Rossi arrivarono in America, il 12 giugno 1939, si fermarono a New York per qualche settimana; ebbero così l'occasione di incontrare Enrico Fermi, sua moglie Laura e Hans Bethe, che Rossi aveva conosciuto in Italia all'inizio degli anni Trenta. Nora e Bruno sentirono che «avevano bisogno di ristabilire un contatto con vecchi amici per superare lo shock della transizione da un continente all'altro» [1, p. 35]. Bethe li condusse in macchina fino a Chicago: arrivarono appena in tempo per l'inizio del simposio organizzato da Compton.

Rossi intervenne alla prima conferenza mondiale sui raggi cosmici con una discussione critica e dettagliata della letteratura ri-

guardante la “disintegrazione del mesotrone”. Un'intera giornata fu dedicata al problema della instabilità radioattiva dei mesotroni, ma apparve chiaro a tutti che le prove raccolte su questo fenomeno non potevano ancora essere considerate come decisive. Era quindi necessario ideare nuovi esperimenti, il primo dei quali doveva mirare a verificare la previsione dell'assorbimento anomalo dei mesotroni nell'atmosfera. A quel tempo, Rossi sentiva di avere tutti gli elementi per delineare un programma di ricerca: un esperimento ad alta quota avrebbe fornito le condizioni di lavoro migliori. L'aspetto più delicato del progetto era la stima accurata dell'assorbimento dei mesotroni in aria, e l'unico metodo per ottenerla sembrava essere una misura in direzione verticale del flusso di mesotroni a diverse altitudini.

L'occasione per questa avventura sperimentale arrivò con un invito a Otsego Lake, nello stato del Michigan, dove i Compton possedevano un cottage estivo. Dopo il simposio c'era molto di cui discutere, e Compton considerò con interesse le idee di Rossi. Il fisico americano individuò immediatamente nel Monte Evans, a 4.000 metri sul livello del mare nella regione delle Montagne Rocciose, un sito ideale per l'esperimento proposto dal collega italiano. Inoltre, a quel tempo il Monte Evans era la montagna più alta degli Stati Uniti che fosse provvista di una strada che portava fino alla cima, dove era stata costruita anche una piccola capanna per scopi scientifici. Compton incoraggiò Rossi ad organizzare una spedizione quella stessa estate. Rossi restò sconcertato da tale esortazione: ciò significava disporre di un mese scarso per costruire l'equipaggiamento necessario e studiare la logistica dell'esperimento. L'équipe avrebbe dovuto partire entro la fine di agosto, se si voleva evitare di trovare neve sulle strade. Rossi non poté non accettare la sfida.

Alla fine di luglio del 1939, l'Università di Chicago aveva offerto a Rossi un posto di ricercatore: egli accettò l'offerta e sentì che, così facendo, stava prendendo la decisione definitiva di restare negli Stati Uniti. Bruno Rossi fu uno dei circa cento fisici che arrivarono negli Stati Uniti tra il 1933 e il 1941 per sfuggire ai regimi nazi-fascisti.

Nel frattempo Leo Szilard ed Eugene Wigner, due fisici ungheresi scappati dall'Europa nazista, si convinsero che era di vitale importanza che gli Stati Uniti sviluppassero la bomba nucleare prima dei tedeschi. Entrambi insistettero affinché Einstein scrivesse al presidente degli Stati Uniti Frank D. Roosevelt per avvisarlo del pericolo e suggerire un intervento governativo per la costruzione di un'arma nucleare. Più tardi, Einstein giudicò quella lettera “il più grave errore” della sua vita.

Nello stesso periodo, Rossi era occupato con i preparativi della sua spedizione in montagna. In breve tempo montò un circuito di coincidenze e si procurò una strumentazione molto semplice grazie anche all'aiuto dei fisici Norman Hilberry e Barton Hoag. L'équipe lasciò Chicago il 26 agosto 1939; con loro c'era anche Nora, che fornì un aiuto prezioso nella risoluzione di problemi di ogni genere. Nella autobiografia di Rossi si legge: «Il nostro viaggio nelle sconfinite pianure del Midwest americano, fra interminabili campi di frumento e granoturco – il nostro primo contatto col cuore dell'America – lasciò in noi un ricordo indelebile» [1, p. 40].

Quando la spedizione arrivò a Denver, a 1.600 metri di quota, si fermò per qualche giorno per compiere le prime misure. I ri-

cercatori raggiunsero quindi Echo Lake, un piccolo specchio d'acqua a 3.200 metri d'altitudine, e si fermarono nuovamente prima di affrontare la strada che li avrebbe condotti agli oltre 4.000 metri del Monte Evans.

Mentre Rossi, sua moglie e i suoi collaboratori lasciavano il “mondo civilizzato”, la situazione politica internazionale peggiorava rapidamente. Il primo settembre la Polonia fu invasa dalla Germania. Due giorni dopo, il Regno Unito e la Francia dichiararono guerra alla Germania.

Conclusione

Gli anni tra il 1939 e il 1943 costituiscono una fase a sé stante nella vita personale e nella attività scientifica di Bruno Rossi. Questo periodo iniziò con l'arrivo negli Stati Uniti, vissuto come un esilio forzato dall'Italia fascista, e fu poi caratterizzato dall'impegno in un notevole programma di ricerca sul decadimento spontaneo del mesotrone. Gli eleganti esperimenti condotti da Rossi in quel periodo fornirono la prova definitiva dell'esistenza di tale processo di decadimento, dimostrarono la dilatazione relativistica della vita media di queste particelle in moto - confermando per la prima volta la teoria di Einstein - e culminarono nella prima misura precisa della vita media dei mesotroni a riposo. Queste ricerche, completate da Rossi durante la guerra, conclusero simbolicamente un'era che egli stesso chiamò «l'età dell'innocenza della fisica delle particelle» [1, p. 53]. 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 al progetto per lo sviluppo del radar presso il MIT Radiation Lab, e poi alla colossale impresa del progetto Manhattan, finalizzata alla costruzione di armi nucleari e che coinvolse migliaia di persone. Come molti altri, Rossi avvertiva la minaccia derivante dal delirio di conquista di Hitler. Tuttavia, nel luglio del 1943, quando Bethe lo invitò a lavorare nel laboratorio segreto di Los Alamos, nel nuovo Messico, egli provò un'angoscia profonda [1, p. 56]: «Segui 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... 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. Ricordo chiaramente con che animo decisi di andare a Los Alamos. Speravo che il nostro lavoro avrebbe dimostrato l'impossibilità di fare la bomba, ma avevo anche concluso che se, viceversa, la cosa fosse risultata possibile, occorreva evitare ad ogni costo che Hitler avesse la bomba prima di noi».

Come tutti i migliori cervelli raccolti nel laboratorio segreto del Nuovo Messico, Rossi lavorò strenuamente alla soluzione dei formidabili e totalmente inediti problemi posti dalla corsa contro il tempo per costruire il primo ordigno nucleare della storia. 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 la-

sciare Los Alamos e accettò il posto offertogli al MIT. Il baricentro della ricerca si era spostato dall'Europa agli Stati Uniti, una nazione non devastata dalla guerra e 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.

Nato nel 1946, il Cosmic Ray Group fondato da Rossi al MIT divenne, negli anni, un centro di fama internazionale. L'inizio dell'era spaziale, inaugurata nel 1957 con il lancio in orbita dello Sputnik russo, generò in Rossi lo stesso entusiasmo che lo aveva accompagnato ad Arcetri. Nel frattempo, la sua posizione lo aveva reso uno degli scienziati più influenti degli Stati Uniti d'America, e gli diede anche l'opportunità di partecipare alla politica scientifica statunitense, come testimonia in particolare uno scambio di lettere con John Fitzgerald Kennedy.

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 una équipe del MIT da lui guidata dimostrò l'esistenza del vento solare e quando fu scoperta la prima sorgente extrasolare di raggi X a circa 9.000 anni luce dalla Terra. Questo secondo esperimento spaziale da lui promosso inaugurava l'astronomia a raggi X, uno strumento rivelatosi fondamentale per la comprensione dell'Universo. Questi eventi 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 sue 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, dove aveva avuto inizio la sua straordinaria odissea scientifica. ●

NOTE

(1) Questo lavoro è dedicato alla memoria di Nora Rossi Lombroso, che è stata sempre molto generosa nel condividere con me i suoi ricordi e le sue impressioni del tempo passato, dandomi il modo di comprendere più a fondo tanti episodi della sua vita con Bruno Rossi. Ringrazio molto anche Gaia Donati per la sua preziosa collabora-

zione all'edizione italiana di questo lavoro, la cui versione più estesa comparirà nel numero di marzo 2011 della rivista *Physics in Perspective*. Questo resoconto è basato principalmente sulle carte di Bruno Rossi conservate negli archivi del Massachusetts Institute of Technology (MIT).

(2) Le principali informazioni biografiche su Bruno Rossi sono contenute nella sua autobiografia [1] e in una breve nota autobiografica [2], ma anche nella eccellente nota biografica di George W. Clark [3]. Le ricerche storiche si sono concentrate sul "periodo italiano" di Rossi, specialmente sugli aspetti più rilevanti della sua attività scientifica all'inizio degli anni Trenta, quando divenne un pioniere della fisica dei raggi cosmici e promotore dell'uso del contatore Geiger e dei metodi elettronici a esso correlati [4].

(3) Il contatore Geiger, introdotto da Rossi sulla scena sperimentale italiana, sarà poi uno strumento che giocherà un ruolo fondamentale nella scoperta della radioattività artificiale indotta dai neutroni da parte di Enrico Fermi all'inizio del 1934. Si veda Leone et al. in [4].

BIBLIOGRAFIA

- [1] **ROSSI B.**, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987.
- [2] **ROSSI B.**, «Bruno Benedetto Rossi», in *Scienziati e Tecnologi contemporanei*, Mondadori, Milano 1974, Vol. II, pp. 436-438.
- [3] **CLARK G.W.**, «Bruno Benedetto Rossi, 13 April 1905 - 21 November 1993», *Proceedings of the American Philosophical Society* 144, 2000, pp. 329-341.
- [4] **D'AGOSTINO S.**, «Alcune considerazioni sull'opera di Bruno Rossi e della scuola fiorentina di fisica nelle ricerche sui raggi cosmici», *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, 2, 1984, pp. 69-83; **DE MARIA M., MALIZIA G., RUSSO A.**, «La nascita della fisica dei raggi cosmici in Italia e la scoperta dell'effetto Est-Ovest», *Giornale di Fisica*, 33, 1992, pp. 207-228; **RUSSO A.**, «Bruno Rossi e la scuola di Firenze», in Antonio Casella et al., eds., *Una difficile modernità. Tradizioni di ricerca e comunità scientifiche in Italia: 1880-1940*, La Goliardica Pavese, Padova, 2000, pp. 287-298; **LEONE M., MASTROIANNI A., ROBOTTI N.**, «Bruno Rossi and the Introduction of the Geiger-Müller Counter in Italian Physics: 1929-1934», *Physica*, XLII, 2005, pp. 453-480.
- [5] **ROSSI B.**, *Cosmic Rays*, McGraw-Hill, Londra 1966.
- [6] **BOTHE W., KOLHÖRSTER W.**, «Das Wesen der Höhenstrahlung», *Zeitschrift für Physik* 56, 1929, pp. 751-777.
- [7] **Amaldi E.**, «Il caso della fisica», in Atti del convegno *Conseguenze culturali delle leggi razziali in Italia*, Accademia dei Lincei, 1990; Nastasi P., «Leggi razziali e presenze ebraiche nella comunità scientifica», in Di Meo A. (a cura di), *Cultura ebraica e cultura scientifica in Italia*, Editori Riuniti, Roma 1994.

Luisa Bonolis

svolge ricerche sulla storia della fisica italiana del Novecento.