

---

## BRUNO PONTECORVO: UN LUNGO VIAGGIO TRA STORIA E SCIENZA<sup>1</sup>

VINCENZO CAVASINNI

SERGIO GIUDICI

MARCO M. MASSAI

PAOLO ROSSI

*Dipartimento di Fisica 'E. Fermi', Università di Pisa*

GIOVANNI SIGNORELLI

GLORIA SPANDRE

*INFN - sezione di Pisa*

ELENA VOLTERRANI

*La Limonaia-Scienza Viva, Pisa*

### 1. Introduzione

Nel 2013 ricorreva il centesimo anniversario della nascita, a Pisa il 22 agosto, di Bruno Pontecorvo, fisico tra i più significativi del XX secolo, laureato a Roma con Enrico Fermi, ma con una naturale vocazione a girare il mondo.

Infatti, il giovane pisano iscritto ad Ingegneria a Pisa, fu attratto dalle sfide della Fisica e, lasciata Pisa, andò a proseguire gli studi a Roma dove si laureò nel 1933, a soli 20 anni, nel Gruppo di Fermi. Ma già dopo pochi anni, nella primavera del 1936, si recò a Parigi, nel Laboratorio di Frederic Joliot e Irène Curie, i quali, dopo la scomparsa nel '34 di Madame Curie, portavano avanti, e con grande successo, le ricerche nel campo della fisica del nucleo, la nuovissima frontiera della ricerca sui costituenti della natura e delle forze che la governano.

Ma per Bruno, ancora giovane e già con un figlio ed una moglie, la via del ritorno in Italia venne preclusa dalle Leggi Razziali del '38, e la strada dell'emigrazione, segnata; nell'agosto del '40 approderà negli USA avendo trovato, grazie all'amico Emilio Segrè, un contratto di lavoro a Tusla, in Oklahoma.

Ma in quegli anni il Progetto Manhattan, dal quale sarà preventivamente escluso in quanto notoriamente comunista, era iniziato, ed i vecchi amici francesi, emigrati nel Canada, Dominion inglese, cominciavano le loro ricerche su un nuovo tipo di arma.

---

1 Mostra sul fisico pisano, a 100 anni dalla nascita, allestita a Pisa dall'8 novembre al 22 dicembre

Bruno quindi dopo pochi anni si trasferisce a Montreal, dando inizio ad un periodo assai fecondo per la sua carriera scientifica. Qui, infatti, rientrato nel mondo della ricerca più avanzata, si dedica allo studio di mille nuovi problemi che nascono da una ricerca mai tentata prima. E' qui in Canada che nascono alcune sue intuizioni che svilupperà negli anni '50 in Unione Sovietica.

Nel '45, finalmente, la guerra è finita, pur con l'olocausto della popolazione di due città del Giappone, Hiroshima e Nagasaki, ma molti problemi nell'incognito mondo nucleare sono ancora da risolvere; e dallo studio dei raggi cosmici vengono nuovi segnali che indicano, inesorabilmente, che il mondo delle particelle elementari è molto più complesso di quanto si poteva supporre.

Pontecorvo torna nel '49 in Europa, stabilendosi in Inghilterra nel nuovo centro di ricerche nucleari costruito a Harwell dove si concentra la maggior parte degli scienziati inglesi, perché la nuova ricerca richiede l'utilizzo di nuove e possenti macchine acceleratrici, nuovi strumenti di calcolo, nuove competenze che devono ancora essere consolidate.

Ma il sempre più sospettoso clima della guerra fredda che sta crescendo in tutto il mondo, la contrapposizione ideologica che si radicalizza, fanno sentire Bruno, comunista e pacifista, un estraneo nel mondo occidentale. Nell'estate del '50 la decisione di fuggire in URSS era già presa e da settembre Bruno è stabilmente uno scienziato che lavora per il socialismo, come era suo grande desiderio. Ma tutto nel più grande riserbo, quasi fosse un segreto da nascondere al mondo che fino al '55 non avrà la certezza del destino di questo brillante fisico italiano; ma solo molti dubbi e sospetti.

Lavora a Dubna, il nuovo centro di ricerca vicino a Mosca costruito dall'URSS per indagare i molti misteri che rimangono nella conoscenza del nucleo. Le ricerche sulle nuove bombe vengono condotte in altri laboratori, ma il campo della fisica è lo stesso. Bruno scompare per cinque lunghi anni dalle cronache, nessuno sa dove sia, dove lavori, su quali progetti.

Si saprà solo dopo molto tempo, ed alcuni dettagli sono emersi proprio in occasione della comparsa di nuovi documenti sul suo lavoro nei primi anni a Dubna e presentati in questa occasione del centenario, che il suo lavoro aveva come argomento d'indagine la fisica sub-nucleare alla quale Bruno ha dedicato i tre decenni di vita in URSS. Anni di grande lavoro, di grandi idee, coronati da grandi successi. Dalla metà degli anni '50 egli comparirà regolarmente in molti congressi internazionali portando il suo originalissimo contributo alla soluzione di problemi sempre nuovi quando un acceleratore viene inaugurato, nuove tecniche di rivelazione vengono messe a punto, nuove teorie vengono formulate. Pontecorvo ritorna in Italia, la prima volta, a Roma nel 1978 per i 70 anni del vecchio amico Edoardo Amaldi; ma è cittadino sovietico, da tanti anni, ormai.

In altre occasioni riceverà nel suo vecchio Paese amicizia e riconoscimenti, ma i maggiori li ebbe in URSS, dove gli fu conferito il Premio Lenin ed il Premio Stalin.

Tuttavia non gli verrà mai assegnato il Premio Nobel; perché?

Anche a quest'ultima domanda la Mostra allestita a Pisa dal 8 novembre al 22 dicembre del 2013 ha cercato di dare una risposta, basandosi anche sul lavoro di ricerca e di raccolta critica di documenti provenienti da molti archivi, che ne è stata la necessaria premessa.

Seguire il percorso che ha condotto Bruno Pontecorvo ad attraversare la Storia del Novecento e a districare alcuni tra i più grandi misteri della Fisica, è stato senz'altro un'occasione dal grande fascino, rivolta a studenti appassionati e a cittadini curiosi, non solo per trovare molte risposte, ma anche per porsi nuove domande.

È curioso ricordare che nella stessa zona di Pisa dove alla fine dell'800 sono stati installati i telai delle fabbriche di Pellegrino Pontecorvo, adesso, dopo una profonda ristrutturazione degli edifici di una successiva fabbrica dei Conti Marzotto che proseguirono le attività dei Pontecorvo, adesso è presente il maggiore Polo scientifico dell'Università di Pisa, con i Dipartimenti di Matematica, Informatica e Fisica, e la sezione di Pisa dell'INFN, chiamato proprio Area Pontecorvo.

## **2. La storia: 1913 - 1930**

1913, 23 gennaio, la componente centralista dei Giovani Turchi prende il potere in Turchia.

1913, 30 maggio, durante la Revolucion Mexicana, Emiliano Zapata forma una giunta autonoma e riprende la guerriglia contro il potere centrale.

1914, 28 giugno, con l'uccisione a Sarajevo del Principe ereditario d'Austria e la dichiarazione di guerra alla Serbia un mese dopo, scoppia la I Guerra mondiale.

1915, 24 maggio, l'Italia entra in Guerra contro Germania ed Austria.

1917, 25 ottobre, (calendario ortodosso) con la presa del Palazzo d'Inverno, a Pietrogrado, i bolscevichi rovesciano il governo di Kerenskij e danno inizio alla Rivoluzione d'Ottobre.

1922, 22 ottobre, dopo quasi due anni di continue violenze ed omicidi politici, alcune decine di migliaia di aderenti al Partito Nazionale Fascista organizzano una adunata armata nella capitale, la marcia su Roma; il re Vittorio Emanuele III incarica Benito Mussolini di formare il nuovo governo.

1922, 30 dicembre, dopo la vittoria contro le truppe 'bianche' i partiti rivoluzionari russi danno vita all'URSS.

1925, 3 gennaio, il discorso di Mussolini alla Camera segna l'inizio della dittatura fascista.

1929, 24 ottobre, a New York il crollo della Borsa di Wall Street è il segnale di inizio della crisi economica mondiale che prende il nome di Grande Depressione.

### **Pisa**

#### *I Pontecorvo arrivano a Pisa*

Nel 1887 i Pontecorvo giungono a Pisa da Roma. Con la Breccia di Porta Pia e la presa di Roma, 20 settembre 1870, viene sancita la fine dello Stato Pontificio; le porte del ghetto si aprono, agli ebrei vengono riconosciuti i diritti.

Molte famiglie ebee lasciano Roma per stabilirsi in Toscana e a Pisa.

Nella Toscana, già governata dai Lorena, si respira un clima politico e culturale 'liberale' e in particolare a Pisa per la presenza della sua Università. Già dal 1593 il Granduca di Toscana, Ferdinando I de' Medici, al fine di garantire lo sviluppo economico e sociale delle città di Pisa e Livorno promulga la Costituzione Livornina. Tra gli aspetti più importanti, essa garantiva libertà di culto, di professione religiosa e politica, annullamento dei debiti e di altre condanne, istituiva un regime doganale a vantaggio delle merci destinate all'exportazione ed assicurava la libertà di esercitare qualsiasi mestiere, purché i beneficiari abitassero nella città di Pisa o di Livorno.

Il Serenissimo Gran Duca... a tutti Voi Mercanti di qualsivoglia Nazione, Levantini, Ponentini, Spagnuoli, Portughesi, Grechi, Tedeschi, Italiani, Ebrei, Turchi, Mori, Armeni, Persiani, dicendo ad ognuno di essi salute... per il suo desiderio di accrescere l'animo a forestieri di venire a frequentare lor traffichi, merchantie nella sua diletta Città di Pisa e Porto e scalo di Livorno con habitarvi, sperandone habbia a resultare utile a tutta Italia, nostri sudditi e massime a poveri... [Dalla prima pagina della Costituzione Livornina]

### *La comunità ebraica a Pisa*

A Pisa già vivono molte famiglie di ebrei: i Nissim, gli Ascarelli, i Di Nola, alcune di queste provenienti dal ghetto ebraico di Roma e anch'esse impegnate, come i Pontecorvo, nel commercio e nella produzione di tessuti. I progressi economici si accentuarono negli anni successivi alla metà del sec. XIX e, in particolare, dopo l'Unità d'Italia. Continuava l'espansione delle attività industriali commerciali e finanziarie. Ma, soprattutto, gli ebrei pisani (facendo spesso leva su solidarietà familiari e su alleanze matrimoniali, di largo raggio nazionale e sovranazionale) acquistarono posizioni di notevole rilievo sia nel settore degli investimenti immobiliari in città e nelle campagne, sia, in particolare, nel settore industriale, come nel caso delle imprese tessili cotoniere che interessarono, insieme con Pisa, anche Pontedera, Cascina e San Giuliano Terme (Nissim, Di Nola, Pitigliani, Rouf, Pontecorvo). [M. Luzzati - Ebrei ed ebraismo a Pisa]

A fine '800 e inizio '900 gli strati medio-alti della popolazione ebraica sono inseriti a pieno titolo nella classe dirigente cittadina. Ricordiamo fra gli altri: Alessandro D'Ancona, direttore della Scuola Normale dal 1892 al 1900 e sindaco di Pisa; Davide Supino, Rettore dell'Università dal 1898 al 1920; entrambi furono nominati Senatori del Regno.

### *Pellegrino Pontecorvo*

Nasce a Roma il 21 agosto 1841. Primo di sei figli, cresce nel ghetto ebraico in una modesta abitazione dove vivono, oltre alla sua famiglia, anche gli zii paterni con i figli. In questa famiglia patriarcale, la cui attività consisteva nel commercio di tessuti, l'impegno per lo studio era fondamentale, sebbene reso difficile a tutti gli ebrei. Pellegrino studia, si appassiona alla lettura e all'arte, dipinge, e insegna l'ebraico.

Quando le difficoltà economiche incominciano a farsi più pesanti, è costretto ad interrompere lo studio e la pittura per dedicarsi all'attività di famiglia dimostrando anche in questa grande talento.

Lavora e sostiene le iniziative patriottiche per l'Italia Unita. Alla presa di Porta Pia esulta: può finalmente essere cittadino italiano.

Viaggia per l'Europa, si specializza nel commercio di nuovi tessuti, portando forti innovazioni nelle tecnologie legate alla tessitura.

Nel 1881 rileva a Pisa la ditta 'Gentiluomo' passando in breve tempo da 60 a 200 telai.

Vive tra Roma e Pisa fino al 1887, quando decide di trasferirsi definitivamente a Pisa, con tutta la famiglia, dove fonda la ditta 'Pellegrino Pontecorvo'. Gli imprenditori ebrei mantenevano tra loro forti legami. Nel 1904, i Pontecorvo acquistarono dai Nissim un gruppo di terreni e fabbricati tra via S. Marta e via S. Bibbiana in Pisa, e, contemporaneamente, i fratelli Nissim divennero azionisti della Pontecorvo. Dopo l'acquisto di alcuni terreni e case posti nel comune di San Giuliano, si cominciò a costruire il 'Fabbricone'. [C. Torti - La piana dei telai: opifici tessili nel pisano]

Pellegrino muore a Roma nel 1918.

I funerali furono un evento nazionale a cui parteciparono molti esponenti politici, imprenditori ed autorità. Operai e industriali si trovarono fianco a fianco, per commemorare il Cavaliere del Lavoro Pellegrino Pontecorvo nonostante i conflitti sociali di quegli anni si facessero sempre più aspri. [C. Sereni - Il gioco dei regni]

### *L'industria tessile pisana all'inizio del XX secolo*

Nel 1910 si dà inizio alla costruzione del nuovo impianto che diviene attivo nel 1912 e a cui viene dato il nome di 'La Fontina'.

All'inizio della prima Guerra Mondiale, la società Pontecorvo possiede 1250 telai, e due impianti completi: 'La Fontina', nel comune di San Giuliano, l'altro in via San Lorenzo e circa 2.000 sono gli operai che vi lavorano.

Durante la Prima Guerra Mondiale, lo sviluppo e l'attività della ditta Pellegrino Pontecorvo costituì un'eccezione rispetto alla crisi delle altre manifatture tessili, che dovettero ridurre il numero dei lavoratori o chiudere per il richiamo sotto le armi del proprietario: essa, infatti, lavorò intensamente per le forniture militari. Lo stabilimento a 'La Fontina' continuò ad avvalersi anche di telai a mano e, in contrasto con la tendenza generale aumentò il numero dei lavoratori provenienti per la maggior parte dalle frazioni del Comune di San Giuliano. [C. Torti - La piana dei telai: opifici tessili nel pisano]

Dopo la morte di Pellegrino è Massimo Pontecorvo, insieme al fratello Attilio, a continuare l'attività del padre. Gli affari vanno a gonfie vele fino all'inizio degli anni trenta quando, a causa della grave crisi economica mondiale, la situazione si aggrava anche in Italia. Lo stabilimento 'La Fontina' viene venduto nel giugno 1937 alla 'Manifatture

Valdarno' e pochi mesi dopo l'impianto di via San Lorenzo ai conti Marzotto. Nel 1938 sono emanate le leggi razziali che riguardano anche la confisca dei beni degli ebrei.

L'edificio ospita oggi i dipartimenti di Fisica, Matematica e Informatica dell'Università di Pisa e, nel 2003, lo spazio antistante i dipartimenti è stato intitolato 'Largo Bruno Pontecorvo' in onore del fisico e del cittadino pisano.

### *La famiglia*

Massimo Pontecorvo e Maria Maroni hanno otto figli, tutti nati a Pisa: Guido nel 1907, Paolo nel 1909, Giuliana nel 1911, Bruno nel 1913, Gilberto detto Gillo nel 1919, Laura nel 1921, Anna nel 1924 e Giovanni nel 1926.

La famiglia abita in una villa in Via Bonanno a due passi dalla torre pendente.

Maria proviene da una famiglia agiata di Milano, il padre Arrigo Maroni è direttore del Fatebenefratelli. I figli la ricordano come una donna dolce ma severa, raffinata, che amava la musica e la lettura.

'La mamma era sicuramente una snob, e noi scherzavamo su questo. Mio padre no. Era un uomo sostanzialmente semplice, con un grande rispetto per il lavoro proprio e degli altri... Negli anni turbolenti dell'immediato dopoguerra, i giovani operai venivano sottocasa a cantare: Verrà Lenin, verrà Lenin li manderà li manderà a lavorare senza mangiare. E anche Pontecorvo, a lavorare, a lavorare, senza mangiare. Le parole, a me che avevo cinque anni, sembravano molto minacciose, ma capii che non mi dovevo spaventare quando sentii che anche mio padre si divertiva a canticchiarla, tamburellando le dita sul tavolo. In realtà egli aveva un buon rapporto con i suoi operai... Stimava in modo particolare un operaio di nome Danilo, anarchico...'. Venne organizzato uno sciopero, e la fabbrica si fermò. In casa quella sera arrivò il gerarca fascista Buffarini Guidi. Voglio i nomi dei caporioni dello sciopero intimò Buffarini Guidi - Mio padre disse che quei nomi non li avrebbe mai fatti... Devo dire che questo episodio aumentò molto in noi ragazzi l'ammirazione per papà. Ci sembrò molto bello, molto giusto che si fosse rifiutato di denunciare Danilo...'

[Bruno Pontecorvo in M. Mafai - Il lungo freddo]

### *La diaspora*

Alla fine del 1938, inizi del '39, a causa delle leggi razziali la famiglia Pontecorvo lascia Pisa e l'Italia. Dei figli, Anna e Laura vanno in Inghilterra dove da circa un anno si trova il fratello maggiore Guido. Paolo è negli Stati Uniti, Bruno e Gillo a Parigi, dove Bruno lavora con i coniugi Joliot-Curie; Giuliana è in Svizzera. Massimo Pontecorvo e la moglie, non vogliono lasciare l'Italia. Si trasferiscono in un primo tempo a Milano, dove vivono i parenti di Maria e alcuni amici. Ma non sono al sicuro nonostante l'ambiente di Milano non sia legato alla comunità ebraica: la famiglia di Maria è infatti di religione valdese. Su insistenza dei figli, dei parenti e degli amici, si recano quindi in Svizzera dove già si trova la figlia Giuliana con il marito.

Le leggi razziali del 1938 non sconvolsero soltanto una Comunità, già in ripiego e molto assottigliata, ma la vita di numerose persone che avevano magari da

tempo rotto i ponti con l'ebraismo, dal momento che venne utilizzato, per l'identificazione degli ebrei, un criterio di 'razza' definito in base ai parametri dei legami familiari di sangue. Si trattava di una vera e propria 'rivoluzione' rispetto a tutta la secolare esperienza degli ebrei italiani e di quelli pisani. Da questo momento divenivano ebrei, se tali erano o erano stati i loro genitori, anche individui cattolici fin dalla nascita, e, perché no, forse divenuti sacerdoti o suore. [M. Luzzati - Ebrei ed ebraismo a Pisa]

### *Guido il genetista*

Classe 1907, è il maggiore dei fratelli Pontecorvo. A Pisa, dopo aver frequentato il Liceo Classico 'Galileo Galilei', si iscrive alla Facoltà di Agraria dove si laurea nel 1928.

Suo professore all'Università è Enrico Avanzi, con il quale lavora anche dopo la laurea e dopo aver svolto il servizio militare.

Tra il 1930 e il 1931 viene chiamato a Firenze dall'Ispettorato Compartimentale Agrario dove si occupa di allevamento di bestiame e dove rimarrà per circa sei anni.

Negli anni 1937-1938 è in giro per l'Europa a visitare allevamenti quando vengono promulgate le leggi razziali. Si trova ad Edimburgo per un Congresso internazionale di genetica, dove riceve la comunicazione del suo licenziamento dall'Ispettorato di Firenze: le leggi razziali prevedono l'allontanamento di persone di origine ebraica dalle cariche pubbliche.

Non potendo rientrare in Italia, decide di rimanere ad Edimburgo dove incomincia le sue ricerche di genetica. Direttore del Dipartimento di Genetica dell'Università di Glasgow, entra a far parte dello staff dell'Imperial Cancer Research Fund di Londra. Le sue ricerche sulla genetica della *Drosophila* (il moscerino dell'uva) ma soprattutto dell'*Aspergillus Nidulans* (un tipo di muffa) di cui scopre la riproduzione asessuata, proponendone il concetto di gener come unità funzionale, lo portano alla notorietà della comunità scientifica internazionale.

È stato tra i primi ad intraprendere gli studi per la determinazione delle mappe cromosomiche dell'uomo ed ha introdotto la tecnica di irradiazione con raggi X per provocare la rottura dei cromosomi.

Muore nel 1999 nella sua casa sulle Alpi, in Svizzera.

### *Gillo 'il selvaggio'*

Gilberto Pontecorvo (Gillo) nasce a Pisa il 19 novembre 1919. Chiamato affettuosamente 'il selvaggio' è riluttante a qualsiasi disciplina: passa ore sul nespolo del giardino, ama il tennis che pratica soprattutto nella villa degli zii a Forte dei Marmi dove la famiglia Pontecorvo è solita trascorrere una parte dell'estate. Dopo la maturità scientifica si iscrive alla facoltà di Chimica, più per far piacere ai genitori che per un reale interesse. La sua vera passione rimane il tennis che pratica con grande successo e che gli permette di viaggiare per l'Europa.

Proprio per il tennis si trova in Francia quando vengono promulgate le leggi razziali e non potendo rientrare in Italia decide di stabilirsi a Parigi dove vive il fratello Bruno, a

cui Gillo è particolarmente attaccato. Parigi, in quegli anni, è la “centrale dell’antifascismo”. Gillo si ritrova in un ambiente eccezionale fatto di persone, di ideali. Ci sono gli amici di Bruno, Aldo Natoli, Salvatore Luria, Sergio De Benedetti, e tanti altri personaggi celebri: Pablo Picasso, Jean Paul Sartre, Igor Stravinskij che avranno una decisiva influenza nella formazione di Gillo.

Le manifestazioni, i cortei... le ragazze che arrivavano in bicicletta con il fazzoletto rosso al collo da principio lo entusiasmarono... ma, fu il cugino Emilio Sereni che cercò di aiutarlo a districarsi nei sottili distinguo di una situazione politica certamente complessa per tutti, particolarmente confusa per il cucciolo Pontecorvo, che del resto era più interessato ad altro. [I. Bignardi - Memorie estorte ad uno smemorato] Si appassiona al cinema dopo aver visto Paisà di Roberto Rossellini. Compra una cinepresa 16 mm e comincia a girare documentari a sfondo sociale. Poi passa a film di grande impegno storico, politico e artistico. Tra i più noti ricordiamo:

- *Kapò*, sul dramma dei campi di sterminio;
- *La battaglia di Algeri*, sulla lotta del popolo algerino per l’indipendenza dalla Francia;
- *Queimada*, sulle sopraffazioni del colonialismo e la rivolta dei popoli oppressi in Sud America.

Muore a Roma il 12 ottobre 2006.

### *‘Sono nato a Pisa nel 1913’*

Il 22 agosto del 1913, Bruno Pontecorvo nasce a Marina di Pisa, in un albergo di fronte al mare, dove la famiglia trascorre un periodo di vacanza, in un clima estivo più confortevole che in città. Bruno, fin da piccolo, studia con profitto; ama giocare a tennis e nuotare. E’ un abile sportivo, nonostante non emerga questa caratteristica dalla sua pagella di maturità: dovrà infatti riparare a settembre proprio in educazione fisica. Molto umile, non pensa di essere dotato di una particolare intelligenza.

Un giorno involontariamente, sorpresi una conversazione tra i miei genitori. Era la mamma che dava un giudizio su ognuno di noi... Bruno, disse la mamma con tenerezza, è il più buono. Esitò un attimo e aggiunse: ma è il più limitato, come si vede dagli occhi. Ha gli occhi buoni, ma non intelligenti... Credo che a questo episodio risalga un mio certo complesso di inferiorità che mi ha accompagnato molto a lungo. L’ho superato, quando ho avuto qualche piccolo successo nel mio lavoro. Ma mi è rimasta una grande timidezza. Quella temo di non averla superata mai del tutto. [M. Mafai - Il lungo freddo]

A Pisa Bruno, che diventerà uno dei più grandi scienziati del Novecento, frequenta il Liceo Classico ‘Galileo Galilei’ e, dopo la maturità, presa a soli sedici anni, si iscrive alla Facoltà di Ingegneria dove frequenta con profitto il biennio.

A me però non piaceva il disegno cosicché decisi di abbandonare gli studi di ingegneria e di iscrivermi al terzo anno di fisica. Mio fratello Guido affermava



con autorità: 'Fisica! Vuol dire che devi andare a Roma. Lì ci sono Fermi e Rasetti!' [B. Pontecorvo - Una nota autobiografica]

### 3. La storia: 1931 - 1936

1931, 14 aprile, nasce la II Repubblica spagnola.

1932, 7 novembre, il democratico Franklin Delano Roosevelt viene eletto presidente degli Stati Uniti; rimarrà in carica, rieletto, fino alla morte, il 12 aprile 1945.

1933, 30 gennaio, il capo del Partito Nazionalsocialista Tedesco dei Lavoratori (NSDAP) Adolf Hitler viene nominato Cancelliere del Reich.

1934, ottobre, in Cina ha inizio la Lunga Marcia che permetterà alle truppe comuniste di Mao Tse-Tung di sfuggire all'accerchiamento da parte dell'esercito nazionalista del Kuomintang.

1935, marzo, Teheran, lo Scià Reza Pahalavi modifica il nome del paese da Persia a Iran, paese degli Arii.

1935, 15 settembre, con le leggi di Norimberga gli ebrei tedeschi vengono privati della cittadinanza; è un primo passo verso la pianificazione del loro sterminio.

1935, 3 ottobre, l'esercito italiano supera il confine tra l'Eritrea e l'Impero Etiope: ha inizio la Guerra di Etiopia.

1936, 9 maggio, conclusa la campagna militare, il re d'Italia Vittorio Emanuele III viene proclamato Imperatore di Etiopia.

### Roma

#### *Pontecorvo a Roma*

Seguendo il consiglio del fratello Guido, Pontecorvo arriva a Roma nell'autunno del 1931 e chiede di essere immatricolato al terzo anno del corso di Matematica e Fisica. Viene esaminato da Fermi e Rasetti. L'esame ha esito positivo, ma, al termine del colloquio, Fermi aggiunge un commento (che in realtà rivolge sempre ad ogni studente):

La fisica è una sola ma disgraziatamente oggi i fisici sono divisi in due categorie: i teorici e gli sperimentatori. Se un teorico non possiede straordinarie capacità, il suo lavoro non ha senso... Per quanto riguarda la sperimentazione, invece, anche una persona di medie capacità ha la possibilità di svolgere un lavoro utile. [M. Mafai - Il lungo freddo]

Pontecorvo lo considera un avvertimento personale e decide che sarà un fisico sperimentale.

Si trasferisce a Roma presso il pensionato protestante YMCA (Young Men Christian Association) non troppo lontano dall'Istituto di Fisica di via Panisperna (oggi incorporato nel complesso del Ministero degli Interni), sul colle del Viminale. Nel novembre del 1933 si laurea con lode discutendo una tesi di spettroscopia, suggerita da Fermi e Segrè, intorno al fenomeno dello spostamento delle righe spettrali dei vapori alcalini immersi in un gas estraneo. Si tratta di un lavoro sperimentale in cui Pontecorvo

estende lo studio anche al caso dei vapori di Mercurio. Questa ricerca sarà pubblicata nei Rendiconti dell'Accademia dei Lincei ed è il suo primo lavoro dato alle stampe. Il primo novembre 1934 Pontecorvo è nominato 'Assistente incaricato presso l'Istituto di Fisica' della regia Università degli Studi di Roma.

### *La scoperta dei neutroni lenti*

Mentre Pontecorvo si occupa ancora di spettroscopia, Fermi scopre nel Marzo del 1934 la radioattività indotta dai neutroni con una strumentazione semplice costituita da una sorgente e da un contatore Geiger. Il gruppo (Fermi, Amaldi, Segrè, Rasetti) indirizza subito il proprio interesse verso la Fisica Nucleare. Entro l'estate del 1934 vengono 'creati' radioisotopi da oltre 40 dei 60 elementi chimici studiati. Pontecorvo è coinvolto in queste ricerche a partire dal settembre 1934. Il suo primo compito consiste nel predisporre, insieme con Amaldi, una scala quantitativa di 'attivabilità' della radioattività indotta. Amaldi e Pontecorvo ottengono risultati 'strani': l'attività sembra dipendere dal materiale che circonda l'apparato. Rasetti li critica ma Fermi crede in un effetto fisico reale.

Amaldi e Pontecorvo hanno notato delle irregolarità nella radioattività indotta se i neutroni, prima di incidere sul campione, passano attraverso degli spessori metallici. Fermi ha la brillante idea di sistemare della paraffina tra la sorgente e il campione da irradiare e osserva un grande aumento dell'attività. La paraffina, ricca di idrogeno, ha la proprietà di rallentare i neutroni che diventano più facilmente catturabili da parte dei nuclei atomici. Questo fenomeno si rivelerà cruciale soprattutto per i suoi futuri impieghi nei reattori nucleari. L'effetto della paraffina viene evidenziato sabato 20 Ottobre 1934 e il lunedì seguente la scoperta viene comunicata alla rivista 'La Ricerca Scientifica' con una Lettera firmata da E. Fermi, E. Amaldi, B. Pontecorvo, F. Rasetti, E. Segrè.

Questa lettera rappresenta l'ingresso ufficiale di Pontecorvo nel gruppo noto come 'ragazzi di via Panisperna', nel quale tutti hanno un soprannome: Fermi è il Papa, Pontecorvo è il Cucciolo.

### *Il brevetto e la fine di via panisperna*

Il direttore dell'Istituto di Fisica di Roma, Orso Mario Corbino, si rende conto dell'importanza strategica della scoperta e consiglia di brevettare 'le parti del lavoro brevettabili'. A quattro giorni di distanza dalla pubblicazione della scoperta, il 26 ottobre 1934, viene depositata al Ministero delle Corporazioni la domanda per il brevetto N° 324458 riguardante il "Metodo per accrescere il rendimento dei procedimenti per la produzione di radioattività artificiali mediante il bombardamento con neutroni".

Il gruppo di Fermi passa dunque ad occuparsi degli effetti delle sostanze idrogenate sulla radioattività indotta.

Pontecorvo inventa una disposizione dell'apparato sperimentale per studiare la diffusione dei neutroni che sarà oggetto di una pubblicazione personale e sarà citata nei lavori successivi di Fermi.

La tecnica del rallentamento dei neutroni avrà molte applicazioni: dalla produzione

di radioisotopi, ai reattori nucleari, alla bomba atomica. Per il riconoscimento del brevetto da parte degli Stati Uniti Fermi e collaboratori intenteranno una causa legale che si concluderà solo nel 1953, con una sentenza favorevole ed un risarcimento in denaro di cui Pontecorvo non riuscirà a beneficiare.

Ma non è solo l'amore per la ricerca che tiene unito il gruppo: i ragazzi di via Panisperna condividono anche la passione per lo sport, in modo particolare per il tennis e le escursioni in montagna.

Nell'estate del 1935 il gruppo inizia a sfaldarsi: Rasetti si reca per un anno negli Stati Uniti, alla Columbia University, mentre Segrè vince la cattedra di Fisica Sperimentale a Palermo. Bruno si lega particolarmente a Gian Carlo Wick, un giovane fisico teorico assistente di Fermi dal 1932, l'unico del gruppo ad interessarsi di politica e a manifestare sentimenti antifascisti.

Pochi giorni dopo l'invio dell'ultimo articolo con Wick sulla diffusione dei neutroni lenti (marzo 1936), Pontecorvo si dimette in anticipo e per sempre dall'Università di Roma.

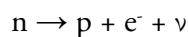
#### **La fisica dal 1930 al 1934**

1930 Per spiegare l'apparente non conservazione dell'energia osservata nel decadimento beta, Pauli postula l'esistenza di una particella neutra molto leggera e confida l'idea a Fermi nel 1931.

1932 Chadwick bombardando il Berillio con particelle alfa (nuclei di elio prodotti da processi di radioattività naturale) osserva per la prima volta una particella neutra, subito chiamata neutrone, troppo pesante per potere essere identificata con la particella di Pauli.

1932 Anderson osserva il positrone studiando i raggi cosmici e notando traiettorie del tutto simili a quelle degli elettroni, ma corrispondenti a particelle dotate di carica positiva.

1933 Fermi formula la teoria del decadimento beta, incorporandovi l'idea di Pauli e ribattezzando neutrino la particella leggera (che nel suo modello ha massa nulla). Il decadimento è interpretato come la trasformazione di un neutrone in un protone, con l'emissione di un elettrone e di un neutrino:



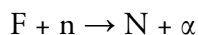
Il neutrino sarà osservato sperimentalmente soltanto nel 1956.

1934 (gennaio) I coniugi Joliot-Curie, che da anni studiano la radioattività naturale, bombardando elementi leggeri (boro e alluminio) con particelle alfa ottengono i primi esempi di radioattività artificiale. Per questo l'anno successivo riceveranno il premio Nobel per la chimica.

Tuttavia le particelle alfa, avendo carica elettrica positiva, non sono adatte per attivare i nuclei pesanti (con Z elevato).

1934 (marzo) Fermi comprende che i neutroni, senza carica elettrica, possono invece penetrare nel nucleo facilmente e inizia subito a bombardare con sorgenti di neutroni

(tubi di vetro contenenti polvere di berillio e radon) tutti gli elementi della tavola periodica, procedendo sistematicamente da quelli più leggeri. Giunto al fluoro ottiene una reazione interpretabile come la trasformazione del fluoro in azoto



1934 (giugno) Con l'uranio il gruppo di Fermi osserva un fenomeno che viene scambiato per la produzione di elementi transuranici. Solo Ida Noddack, una radiochimica tedesca, avanza l'ipotesi che si tratti di fissione nucleare, ossia di rottura del nucleo d'uranio in frammenti più leggeri.

1934 (settembre-ottobre) Partendo da alcune osservazioni sperimentali di Amaldi e Pontecorvo, Fermi scopre che i neutroni sono fortemente rallentati dall'attraversamento della paraffina. Di conseguenza sono catturati molto più facilmente dai nuclei poiché la probabilità è direttamente proporzionale al tempo trascorso dal neutrone entro il raggio di cattura del nucleo. La produzione di nuovi isotopi risulta quindi più facile. Dopo una settimana dalla pubblicazione dei risultati di Fermi ('Azione di Sostanze Idrogenate sulla radioattività provocata da neutroni', La Ricerca Scientifica, Anno V, Vol. II, n. 7-8), la scoperta è confermata anche dai coniugi Joliot-Curie a Parigi.

#### 4. La storia: 1936 - 1940

1936, 4 giugno, dopo la vittoria del Front Populaire, in Francia, Leon Blum forma un Governo di sinistra.

1936, 17 luglio, il generale Franco, comandante della guarnigione spagnola in Marocco, entra in Spagna dando inizio alla Guerra Civile; ad ottobre nascono le Brigate Internazionali.

1937, 22 giugno, Francia, dimissione di Leon Blum.

1938, 15 luglio, viene pubblicato su 'Il Giornale d'Italia' il Manifesto della razza, firmato da dieci Professori universitari.

1938, 17 novembre, viene pubblicato il decreto legge che espelle gli ebrei da ogni forma di lavoro pubblico, le cosiddette Leggi Razziali.

1939, aprile, crollo della Repubblica in Spagna e inizio della Dittatura franchista.

1939, 1 settembre, truppe tedesche invadono la Polonia: ha inizio la II Guerra mondiale.

1940, 10 giugno, l'Italia dichiara guerra a Francia e Inghilterra.

1940, 14 giugno, le truppe tedesche della Wehrmacht, dopo la fulminante offensiva di primavera attraverso le Ardenne, entrano a Parigi.

#### Parigi

##### *Da Roma a Parigi*

Nel 1936 Pontecorvo vince una borsa di studio per trascorrere 6 mesi in un laboratorio all'estero. La scelta della destinazione non è facile. A seguito dell'invasione dell'Etiopia, all'Italia sono state appena imposte pesanti sanzioni economiche e il governo fascista

individua nell'Inghilterra il maggior responsabile. Per questa ragione i prestigiosi laboratori di Cambridge sono esclusi.

Fermi decide per il parigino Institut du Radium, fondato dai premi Nobel Pierre e Marie Curie e diretto da Frédéric Joliot, premio Nobel insieme alla moglie Irène, per la scoperta della radioattività artificiale.

Il 15 Aprile 1936, Pontecorvo giunge a Parigi: nei primi sei mesi porterà ancora avanti le ricerche iniziate in via Panisperna, quindi, scaduta la borsa italiana, i francesi gli offrono di restare. Pontecorvo accetta e decide di non rientrare in Italia nonostante nel 1937 fosse stato bandito a Roma un concorso per un posto di assistente a tempo indeterminato.

A Parigi Pontecorvo sfrutta le competenze francesi nella realizzazione di Alte Tensioni che consentono di produrre intense sorgenti di raggi X con cui studia il fenomeno dell'isomeria nucleare: una nuova linea di ricerca, individuata autonomamente, che lo renderà famoso. Alla luce degli interessanti risultati, la borsa di studio francese è rinnovata ogni sei mesi fino al dicembre del 1939, dopo lo scoppio della seconda guerra mondiale.

### *La Vie Parisienne*

Nei quattro anni del suo soggiorno parigino, Pontecorvo abita in una modesta stanza dell'Hôtel des Grands Hommes in Piazza del Pantheon n. 17 a pochi passi dall'Istitut du Radium dove lavora. Siamo nel quartiere latino: La Sorbonne, l'École Polytechnique, il Collège de France e intorno una moltitudine di laboratori privati, botteghe e atelier. Pontecorvo è affascinato dal nuovo ambiente decisamente più democratico e melangé rispetto a Pisa e Roma:

Mi colpì molto la generale promiscuità, la presenza di tanta gente di colore, il gran numero di ragazze che frequentavano l'università, il loro atteggiamento così disinvolto. Ma soprattutto mi colpirono gli operai. A Parigi c'erano gli operai, si riconoscevano fisicamente e frequentavano gli stessi locali dove andavamo noi studenti e intellettuali. Mangiavano al nostro fianco, tranquillamente. A Roma credo di non aver mai visto un operaio. [...] certo non avevo mai mangiato alla stessa tavola con loro. [M. Mafai - Il lungo freddo]

Ai tavoli del Foyer des étudiants o Chez Marthe, un ristorante del quartiere, Pontecorvo discute di politica con gli amici Sergio De Benedetti futuro fisico, Salvatore Luria (Premio Nobel per la medicina 1969) e frequenta il cugino Emilio Sereni esule antifascista. Pochi mesi dopo il suo arrivo, conosce Marianne Nordblom, una studentessa svedese che sposerà civilmente nel 1940, due anni dopo la nascita del primo figlio, Gil.

Nel 1938 è raggiunto dal fratello Gillo, non ancora ventenne, che con la scusa di partecipare ad un torneo di tennis decide di non rientrare in Italia dove sono state promulgate da poco le leggi razziali.

### *L'incontro con Joliot*

In Frédéric Joliot, Pontecorvo non trova soltanto il suo secondo maestro ma anche un amico che lo accoglie e lo coinvolge nelle proprie passioni: lo sport e la politica.

Frequenti sono gli inviti alla villa al mare di Arcouest in Bretagna, località in voga tra gli intellettuali e scienziati parigini. Quando arriva a Parigi, la Francia è in piena campagna elettorale e Pontecorvo inizia a respirare il clima politico libertario ed antifascista degli intellettuali parigini e degli esuli italiani e spagnoli.

Le elezioni sono vinte dal Front Populaire: una coalizione di sinistra che porterà al governo di Léon Blum, il primo presidente del consiglio ebreo della storia francese.

Frédéric e la moglie sono figure di spicco sulla scena politica tanto che Irène Curie viene scelta come Sottosegretario per la ricerca nel neonato governo.

Pochi mesi dopo, rientrati da una missione scientifica in Russia, i Joliot testimoniano il loro apprezzamento per il progresso economico sociale dell'Unione Sovietica e il convincimento che 'la scienza al servizio del socialismo diventava uno strumento di militanza rivoluzionaria'. [S. Turchetti - Il caso Pontecorvo]

L'amicizia con Joliot resterà solida anche durante gli anni della guerra fredda quando le posizioni politiche di Joliot entreranno in conflitto con l'influenza americana nell'Europa della NATO. I due amici si incontrano per l'ultima volta in URSS, a Dubna nel maggio del 1958, pochi mesi prima della morte di Joliot.

Così Pontecorvo ricorda l'amico sulle colonne dell'Unità: 'Ho avuto la fortuna di lavorare con lui e di esserne amico... era terribilmente affascinante, tipicamente francese, di quelli a cui piace un po' ascoltarsi'.

### *Il cugino Emilio e la formazione politica*

Altra figura importante per la formazione politica di Pontecorvo negli anni parigini è il cugino Emilio Sereni, esule antifascista, futuro uomo chiave della Resistenza e in seguito parlamentare del PCI.

Mio cugino Emilio mi ha dato per la prima volta delle cose da leggere, delle cose - intendo - che non fossero libri di Fisica o di Letteratura... con Sereni tutto è cambiato. Ho cominciato a vedere cose che prima non vedevo, e soprattutto mi sono convinto che ognuno di noi doveva fare qualcosa per cambiare il mondo...Ho cominciato a guardare con interesse prima e con entusiasmo poi a quello che accadeva in URSS, dove il proletariato era al potere e dove si andava costruendo l'uomo nuovo. [M. Mafai - Il lungo freddo]

L'amicizia con Joliot e la frequentazione con Sereni sono i momenti centrali per la formazione della coscienza politica di Pontecorvo. L'impegno civile si fa spazio tra la Fisica e lo sport e assume un ruolo sempre più centrale nella sua vita. La politica viene incontro a Pontecorvo come un vigoroso intreccio di sentimenti e ragione.

Nel momento in cui i comunisti erano così isolati, calunniati, insultati, ebbene io scelsi proprio quel momento per aderire al partito. [M. Mafai - Il lungo freddo]

Verso la fine di Agosto del 1939 Pontecorvo prende la tessera del Partito Comunista d'Italia.

Il 3 settembre la Francia dichiara guerra alla Germania e la borsa di studio di Pontecorvo, scaduta nel dicembre dello stesso anno, non viene rinnovata. Con l'aiu-

to di Enrico Fermi e di Frédéric Joliot, Pontecorvo prepara il suo trasferimento in America.

### **5. La storia: 1940 - 1949**

1940, 22 giugno, inizio dell'Operazione Barbarossa, oltre 130 divisioni tedesche invadono l'URSS.

1941, 7 dicembre, 350 aerei partiti da sei portaerei giapponesi al comando dell'Ammiraglio Nagumo bombardano Pearl Harbor: gli USA entrano in guerra.

1943, 25 luglio, durante una drammatica seduta, il Gran Consiglio del Partito Fascista approva l'ordine del giorno Grandi ed esautorava Mussolini che viene arrestato il giorno seguente.

1943, 8 settembre, a Cassibile viene firmato l'armistizio tra Italia e Alleati.

1945, 27 gennaio, l'Armata Rossa libera il campo di sterminio di Auschwitz rivelando al mondo le atrocità del nazismo.

1945, 4-11 febbraio, a Yalta, in Crimea i Capi delle Nazioni Alleate si riuniscono e definiscono le future sfere di influenza in Europa e nel mondo.

1945, 8 maggio, la resa incondizionata della Germania pone fine alla guerra in Europa.

1945, 15 luglio, prima esplosione atomica sperimentale ad Alamogordo, New Mexico.

1945, 6 e 9 agosto, i bombardamenti atomici di Hiroshima e Nagasaki pongono fine alla II Guerra mondiale anche nel Pacifico.

1948, 15 maggio, New York, alle Nazioni Unite viene approvata la fondazione dello Stato di Israele.

1948, 10 dicembre, a Parigi viene firmata la 'Dichiarazione Universale dei Diritti dell'Uomo'.

1949, aprile, Parigi: si riuniscono per la prima volta i 2.000 delegati dei Partisans de la Paix che chiedono l'abolizione di tutte le armi atomiche.

1949, 29 agosto, l'URSS esegue il primo test di un ordigno nucleare.

1949, 1 ottobre, viene fondata la repubblica Popolare Cinese.

### **USA – Canada - UK**

#### *La fuga da Parigi*

Il 13 giugno 1940, con la Wehrmacht alle porte, Pontecorvo, insieme agli amici Lauria e De Benedetti, fugge da Parigi in bicicletta, in quei momenti convulsi unico mezzo disponibile ed agile. Raggiunge la sorella Giuliana a Tolosa dove si è stabilita con il marito Duccio Tabet e dove sono già arrivati Marianne con il figlio Gil. Da lì, attraversando la Spagna, giungono a Lisbona, unico imbarco sicuro per gli Stati Uniti, ritenuto ormai il solo Paese dove poter continuare a lavorare; e sopravvivere.

Il viaggio è lungo, difficile, con la moglie Marianne che soffre per la gravidanza, il caldo opprimente ed il percorso travagliato. A Lisbona, dopo alcuni giorni di ansia ed

incertezza, i Pontecorvo si imbarcano sulla motonave Quanza e arrivano a New York il 20 agosto; due giorni dopo, Bruno compirà 27 anni, ma ha già alle spalle un'ottima fama di fisico nucleare ed una grande esperienza.

Da mesi è in contatto con l'amico Emilio Segrè e con Enrico Fermi per cercare un contratto di lavoro, condizione necessaria per poter entrare negli USA; dopo un contatto con la Westinghouse non andato a buon fine, ha ottenuto una proposta dalla Well Surveys Inc. che si occupa di ricerche petrolifere. Andrà a sviluppare nuove tecnologie per l'individuazione di giacimenti di petrolio.

A Tulsa, Oklahoma, si sistema con piena soddisfazione, sia per il lavoro sia per la nuova vita. La sorella Giuliana si è fermata a New York, dove ogni tanto capita anche Bruno, che riesce a mantenere, nella diffidente America, i legami con parenti e vecchi amici. Anche se chiede subito la cittadinanza, negli USA ha lo status di enemy alien (straniero nemico) che gli limita i diritti civili.

... e tuttavia ho un buon ricordo del periodo dell'Oklahoma. Ho messo a punto un sistema che è la prima applicazione del neutrone, il cosiddetto carotaggio neutronico. [M. Mafai - Il lungo freddo]

### *Neutroni e campi petroliferi*

Bruno rimane a Tulsa quasi tre anni raggiungendo presto una notevole fama per una sua originale applicazione dei neutroni lenti: sviluppa infatti un nuovo sistema di rilevamento della presenza di petrolio nel sottosuolo che si basa sulla tecnica del rallentamento dei neutroni; proprio la scoperta che nel 1938 aveva portato il Premio Nobel a Fermi e che Bruno aveva imparato e messo a punto negli anni romani.

Ma in questo nuovo lavoro mette a frutto anche la sua geniale inventiva e la sua spiccata fantasia che gli permettono di portare un contributo originale alle tecniche di prospezione petrolifera.

Il carotaggio neutronico, che va a migliorare le già note tecniche di carotaggio elettrico e gamma, viene subito utilizzato su larga scala ed è una tecnica ancora attuale. Bruno non la brevetta, manifestando la sua personalità tesa soprattutto alla ricerca pura; e tuttavia, rinuncia alla proposta di diventare Professore all'Università, in Michigan e a Cornell.

Sono anni di grandi soddisfazioni, di vita tranquilla, di contatti costanti, seppur non frequenti, con Fermi, Segrè e di assidui rapporti epistolari, in particolare, con l'amico Gian Carlo Wick.

È il 1942 e negli USA sta partendo in gran segreto il Progetto Manhattan che porterà alla costruzione del Laboratorio di Los Alamos, in New Mexico. I contatti con Fermi e gli altri si interrompono, improvvisamente.

Anche in Inghilterra si sta organizzando la corsa alla bomba atomica, e con maggiore timore, vista la vicinanza con la nemica Germania. Il governo britannico decide di trasferire il team di ricerca e le attrezzature in Canada, dove sono arrivati anche alcuni dei vecchi amici francesi di Pontecorvo. Saranno anche loro a proporre nel 1943 a Lord



John Cockcroft di chiamare il giovane fisico italiano a Montreal, a collaborare alla progettazione e alla costruzione del primo reattore nucleare anglo-canadese.

### *La bomba*

Nel 1943 la maggior parte dei fisici lavora ai progetti segreti per sviluppare la nuova bomba, e soprattutto, per arrivare prima dei tedeschi. Non tutti però, tra gli ex 'Ragazzi di via Panisperna', partecipano a questa sfida principalmente scientifica; Franco Rasetti, il Venerato Maestro, ha scelto di stare lontano, tra i monti del Canada a studiare fossili e farfalle.

Ed in Canada si sta intensificando lo sforzo degli inglesi. Anche Bruno Pontecorvo, escluso dal Progetto Manhattan, comincia a lavorare alla costruzione di un reattore nucleare nei nuovi laboratori di Chalk River. Qui ritrova alcuni dei colleghi fuggiti dalla Francia occupata, come Hans von Halban e Pierre Auger; ma non Joliot che ha deciso di prendere le armi nella Resistenza francese.

Anni dopo, a Miriam Mafai che gli chiede chi lo aveva chiamato in Canada, risponde:

Non ricordo chi mi ha contattato per primo, forse Auger, forse Placek...Il periodo canadese fu molto bello, molto utile, molto stimolante dal punto di vista scientifico. [M. Mafai - Il lungo freddo]

Negli anni canadesi Pontecorvo getta le basi per molti dei suoi futuri successi nel campo della ricerca, ma durante il periodo bellico il suo maggiore impegno riguarda la costruzione del reattore nucleare: studio dei materiali, misura delle sezioni d'urto, messa a punto di nuovi rivelatori.

Alla fine del 1944 viene inviato a Chicago per discutere di questi problemi con Fermi che, due anni prima, aveva messo in funzione la prima pila atomica. Diventa presto uno degli scienziati più esperti e determinanti nello sviluppo dei reattori ad acqua pesante.

In questi anni la famiglia cresce con l'arrivo dei figli Tito nel 1944 e Antonio un anno dopo.

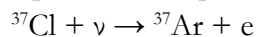
Nel luglio del 1945, alla notizia del test della prima bomba atomica ad Alamogordo, come quasi tutti i fisici esprime soddisfazione per il successo che sente anche suo, come una grande scoperta scientifica appartenente a tutti coloro che vi hanno lavorato.

Al contrario dei suoi colleghi che sono scettici sull'uso della nuova arma, Pontecorvo è convinto che gli Americani la useranno contro il Giappone, per motivi politici, come ricorda Philip R. Wallace, a quel tempo fisico teorico a Montreal. [La Phisique au Canada, aprile 2000]

### *Nuove idee per la nuova fisica*

Nel 1946, pur rimanendo inserito nella ricerca nucleare, Pontecorvo ritorna allo studio delle particelle elementari. Esegue con i colleghi Geoffery Hanna e David Kirkwood accurate misure sui raggi cosmici dalle quali trae la convinzione che gli elettroni osservati provengono dal decadimento in volo dei muoni e che entrambe queste particelle hanno la stessa natura, ma una sola grande differenza, la massa.

Bruno si pone anche il problema di rivelare la ancora sconosciuta particella ipotizzata da Pauli nel 1930, il neutrino, che nei reattori nucleari viene prodotta in eccezionale quantità. Per questo scopo propone di sfruttare la reazione:



È un'idea geniale che solo dopo molti anni verrà ripresa e messa in pratica da altri.

Ho lavorato per anni alla progettazione e alla messa in servizio di un reattore nucleare a uranio ordinario e ad acqua pesante. Io dirigevo gli aspetti fisici del progetto. Ma in Canada ho anche iniziato le mie ricerche di fisica delle particelle elementari che poi ho continuato per tutta la vita... Fu lì, in Canada, che intuì la simmetria elettrone-muone che ha avuto, penso, qualche importanza per la elaborazione successiva della universalità delle interazioni deboli. [M. Mafai - Il lungo freddo]

In quegli anni per il mondo occidentale c'è un nuovo problema: la fuga di cruciali informazioni di carattere tecnico-scientifico verso l'Unione Sovietica. Iniziano le indagini segrete, le delazioni, i sospetti. L'FBI scopre una rete di spie intorno ad un addetto dell'ambasciata sovietica a Montreal, Igor Gouzenko, il quale confessa che numerosi scienziati stanno fornendo informazioni sul reattore di Chalk River. Viene arrestato Alan Nunn May; ma anche Pontecorvo viene sospettato in quanto straniero e comunista. Niente viene trovato su di lui a riscontro dei sospetti avanzati; ne esce quindi scagionato e prosegue la sua attività di ricerca.

Alla fine della guerra Bruno riallaccia i rapporti con i vecchi amici francesi e, seppur nelle difficili condizioni post-belliche, realizza alcuni viaggi in Europa, tornando anche in Italia.

Nuovi cambiamenti sono alle porte per la famiglia Pontecorvo.

### *In inghilterra*

Il periodo canadese si conclude nella primavera del 1948, quando Pontecorvo accetta di trasferirsi in Inghilterra, nel nuovo centro per ricerche atomiche costruito ad Harwell, vicino ad Oxford. Ha rinunciato a numerose proposte ricevute da prestigiose Università, a testimonianza della fama che si è costruito nei lunghi anni americani. Forse, lo ha convinto anche l'idea di avvicinarsi con la famiglia ai vecchi amici, ai numerosi parenti; molti dei suoi fratelli, infatti, abitano da tempo in Inghilterra. Bruno prende quindi casa nel villaggio di Abingdon, vicino ad Harwell.

Adesso è al centro dei rapidi progressi della fisica nucleare, con la costruzione dei primi reattori in Europa; può anche dedicarsi alla fisica delle particelle e allo sviluppo di nuovi strumenti. Partecipa ai Convegni di Fisica Nucleare, come Edimburgo, Basilea, Como dove, nel settembre del 1949, incontra Fermi e presenta un lavoro sui contatori proporzionali. Riceve anche una proposta da Gilberto Bernardini per una cattedra a Pisa, che però lascia cadere. Ma nuove tensioni sorgono intorno alla segretezza della tecnologia nucleare che spie sovietiche violano spesso, anche in modo clamoroso. Agli inizi del 1950 scoppia il 'caso Fuchs', un fisico teorico tedesco che ha partecipato al

Progetto Manhattan e da tempo, rifugiato in Inghilterra, lavora al centro nucleare di Harwell. Klaus Fuchs viene scoperto, processato e condannato per spionaggio nucleare. Anche Pontecorvo, che ben lo conosce, viene indagato, ma, di nuovo, senza che gli venga contestato alcunché

In Francia, le pressioni americane sul governo portano alla rimozione di Joliot-Curie da direttore del CEA, Centre pour l'Energie Atomique, per motivi ideologici. Sono colpi decisivi. Forse, Bruno vede alzarsi nuove minacce intorno a sé. Forse comincia a pensare al suo trasferimento in URSS, nonostante accetti la cattedra che gli è stata proposta dall'Università di Liverpool su indicazione di John Cockcroft.

### *Vacanze in Italia*

È l'estate del 1950, Bruno si appresta ad andare in vacanza in Italia con la famiglia. Il 25 luglio dopo aver scritto all'Università di Liverpool che prenderà servizio con un po' di ritardo, inizia il lungo viaggio in auto, che lo porterà in Francia, in Svizzera, in Austria.

Sul tetto ha caricato la tenda, gli attrezzi per il campeggio, la bicicletta di Gil e i bagagli necessari per una vacanza di un mese. [M. Mafai – Il lungo freddo]

Arrivano in Italia dove, a Ladispoli, li attendono Giuliana e Duccio. Il 22 agosto sono al Circeo a festeggiare con Gillo e Henrietta il 37° compleanno di Bruno.

Nelle acque del Circeo impara da Gillo ad utilizzare l'attrezzatura per la pesca subacquea e a cogliere il momento preciso nel quale lanciare l'arpione. Passano giorni felici che ricorderà a lungo. Con amici e parenti rammenta quando, da bambino, trascorrevano le vacanze al Forte insieme ai cugini, tra i quali Emilio Sereni, ormai diventato un dirigente del Partito Comunista Italiano, allineato alla politica dell'URSS.

Dai giornali giungono notizie allarmanti da tutte le parti del mondo; lo scoppio della guerra in Corea ha segnato la fase più acuta della Guerra Fredda. Si percepisce il rischio di un nuovo utilizzo della bomba atomica. Una notizia attira l'attenzione: il governo degli Stati Uniti è stato convocato in giudizio per aver utilizzato indebitamente il brevetto dei 'Ragazzi di via Panisperna': viene chiesto un risarcimento iperbolico di 10 milioni di dollari!

Sono momenti di intensa emozione. Forse la decisione è presa. Il 25 agosto rientrano a Roma. L'auto viene consegnata ad un garage della capitale, con l'impegno di ritirarla dopo qualche tempo. Ma quel tempo non arriverà mai.

Con tutta la famiglia si imbarca su un volo della Scandinavian Airlines per Stoccolma.

## **6. La storia: 1950 - 1991**

1950, aprile, Parigi, Frédéric Joliot-Curie viene allontanato dalla direzione del CEA, Centre pour l'Energie Atomique.

1950, 25 giugno, l'esercito della Corea del Nord, con l'avallo della Repubblica Popolare Cinese, invade la Corea del Sud, alleata degli USA: inizia la Guerra di Corea, che rappresenta la fase più acuta della Guerra Fredda.

- 1951, 26 ottobre, Winston Churchill forma il suo secondo governo.
- 1952, novembre, gli USA effettuano la prima esplosione termonucleare (bomba H).
- 1953, agosto, l'URSS fa esplodere la sua prima bomba H.
- 1954, maggio, in Viet Nam, i francesi vengono sconfitti a Dien-Bien-Phu dall'esercito dei Viet Minh, guidati dal generale Giap.
- 1954, 29 settembre, a Ginevra viene fondato il CERN.
- 1954, 1 novembre, in Algeria, il Front de Libération Nationale dà inizio alla guerra di liberazione dalla Francia.
- 1955, 14 maggio, i Paesi socialisti dell'Europa dell'Est danno vita al Patto di Varsavia, alleanza militare che si contrappone alla Nato.
- 1955, 14 dicembre, l'Italia entra nell'Organizzazione delle Nazioni Unite.
- 1956, 26 luglio, crisi di Suez: Nasser, presidente dell'Egitto, nazionalizza il canale che viene quindi occupato da paracadutisti inglesi e francesi; l'URSS minaccia l'intervento a fianco dell'Egitto.
- 1956, ottobre – novembre, le truppe del Patto di Varsavia invadono l'Ungheria e pongono fine alle aperture democratiche di Imre Nagy.
- 1957, 4 ottobre, l'URSS mette in orbita il primo satellite artificiale, lo Sputnik-1.
- 1959, 1 gennaio, il dittatore cubano Batista fugge da l'Havana, occupata dai barbudos, guidati da Fidel Castro e da Ernesto 'Che' Guevara.
- 1960, dicembre, si costituisce il Fronte di Liberazione Nazionale del Viet-Nam, il Viet-Cong.
- 1961, 12 aprile, il russo Yuri Gagarin, a bordo della navicella Vostok-1, è il primo uomo in orbita intorno alla Terra.
- 1961, 30 ottobre, l'URSS fa esplodere la Zar Bomb, progettata da Andreij Sacharov, 3.000 volte più potente della bomba di Hiroshima.
- 1962, ottobre, crisi di Cuba, blocco navale degli USA per impedire l'installazione di missili russi (MRBM). Kennedy e Krushev minacciano lo scoppio della III guerra mondiale.
- 1967, 5 - 10 giugno, guerra dei 'sei giorni', tra Israele e gli Stati Arabi.
- 1968, agosto, crisi cecoslovacca, il governo di Dubcek è l'ultimo atto della 'Primavera di Praga'.
- 1969, 20 luglio, Neil Armstrong, dell'Apollo-11, posa il piede sulla luna: 'E' un piccolo passo per un uomo, un grande balzo per l'Umanità'.
- 1975, 30 aprile, l'ultimo elicottero americano si alza dall'ambasciata USA di Saigon: finisce la guerra del Viet-nam.
- 1978, 16 marzo, Roma, le Brigate Rosse compiono la strage di via Fani, rapiscono Aldo Moro e lo uccidono dopo quasi due mesi di prigionia.
- 1978, 16 ottobre, il cardinale polacco Karol Wojtila viene eletto Papa e sceglie il nome di Giovanni Paolo II.

1989, 9 novembre, aperte le frontiere tra le due Germanie, inizia il crollo del muro di Berlino.

1991, 26 dicembre, il Soviet Supremo dell'URSS dichiara dissolta l'Unione Sovietica.

### **Da Bruno a Бруно Максимович**

#### *Il Viaggio*

E' la fine di agosto del 1950, Bruno Pontecorvo, con la famiglia è in volo verso Stoccolma. Il figlio Gil, il maggiore, che all'epoca aveva solo 12 anni, ricorda molto bene quel viaggio: 'Siamo stati lì una notte ma stranamente non siamo andati a trovare la nonna. Il giorno seguente abbiamo preso un piccolo aereo per Helsinki. Ricordo la costa delle Svezia dall'alto, era bellissima. Due giorni dopo ci hanno accompagnato in automobile fino al confine con l'Unione Sovietica. Io ero con mia madre e miei fratelli; mio padre viaggiava da solo in un'altra macchina. Passato il confine abbiamo preso un treno per Leningrado e dopo due settimane siamo andati a Mosca. Avevamo un bell'appartamento, grande, ma io non ero contento. Non parlavo la lingua, non avevo amici. Mi avevano promesso che saremmo ritornati a casa per l'inizio della scuola. Quando ho realizzato che non saremmo più ripartiti per l'Inghilterra mi sono molto arrabbiato con mio padre, ho urlato, pianto...Sono stato per due mesi sempre rinchiuso in casa. Di questo periodo ho un brutto ricordo, il peggiore della mia vita.'

Anni dopo Bruno Pontecorvo racconterà a Miriam Mafai:

Viaggiai da clandestino chiuso nel bagagliaio e occupai il tempo pensando a cosa avrei detto all'arrivo a Mosca. Mi ero preparato una specie di piccolo discorso, rivolto idealmente ai miei colleghi occidentali, con il quale intendevo spiegare le ragioni della mia scelta...Non c'entra niente l'atomica. L'URSS l'aveva già da oltre un anno. Io volevo lavorare per il progresso e la pace... volevo in qualche modo mettermi a disposizione dell'URSS. Solo in quel paese, pensavo, la mia passione scientifica e i miei sentimenti profondi non sarebbero entrati in contrasto. Trovavo scandaloso l'atteggiamento antisovietico che andava prevalendo in tutto l'Occidente. Era una cosa molto ingiusta se si pensa a quei milioni di russi, soldati e civili, uomini e donne che erano morti anche per noi nella seconda guerra mondiale. Per questo sono partito.' [M. Mafai - Il lungo freddo]

I Pontecorvo arrivano a Mosca una mattina di settembre, protetti da accompagnatori e guardie del corpo. I colleghi di Bruno e il direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Liverpool, Herbert Skinner, lo aspetteranno invano alla conferenza di Harwell, programmata per il 6 settembre.

Pochi mesi prima, il 25 giugno, l'esercito della Corea del Nord, con l'avallo della Repubblica Popolare cinese, aveva invaso la Corea del Sud, alleata degli Stati Uniti, dando inizio alla Guerra di Corea. Siamo al culmine della guerra fredda e del fisico nucleare e della sua famiglia non si avrà più notizia per cinque, lunghi, anni.

'Non ha detto una parola a nessuno. Era molto scientifico' - dichiara il fratello

Gillo - 'se nessuno sapeva, tutti erano più tranquilli.' [dal film Pontecorvo - di Ella Vlasova, prodotto da Science Video Mosca e La Limonaia Scienza Viva, 2003]

Ma non è solamente Pontecorvo a mantenere il silenzio; alla vicenda viene infatti messa la sordina da parte di tutte le nazioni, in primo luogo l'Inghilterra che non vuole essere accusata dagli americani di inaffidabilità per avere avuto spie all'interno del suo organico scientifico. Gli stessi italiani cercano di far calmare le acque, il PCI non ha infatti nessun interesse a immischiarsi nella faccenda. Il dirigente del PCI Gianni Cervetti spiega così il silenzio intorno a Pontecorvo:

I cinque anni di silenzio, prima della dichiarazione famosa in cui disse dove si trovava, si spiegano con un interesse delle varie parti, di tutte le parti, a non esporre il caso perché tutti avrebbero potuto trovarsi di fronte a speculazioni di altri, o accuse, a critiche. [archivio RAI, La storia Siamo Noi – Il caso Pontecorvo - Il silenzio intorno all'affaire Pontecorvo]

In realtà gli americani sanno dove si trova Pontecorvo. Nella relazione dell'aprile del 1951 del Joint Committee on Atomic Energy (82esimo congresso, prima sessione) che tratta i casi delle tre famose spie Fuchs, May e Greenglass e presieduta dal senatore del Connecticut, Brien McMahon, si parla anche di lui:

A special situation is presented by Dr. Bruno Pontecorvo, the Italian-born British scientist, who worked at Canadian atomic energy centers and visited American laboratories during World War II....Pontecorvo, his wife, and three children disappeared behind the Soviet iron curtain, fleeing via Sweden and Finland, during September 1950. While Pontecorvo had no direct contact with weapons work, it is possible to speculate that he may have betrayed reactor data from 1943 onward-supplementing the bomb details and the U-235 processing information divulged by Fuchs and thereby furnishing Russia with a particularly well-rounded picture. In any event, as of September 1950, the Soviets acquired in Pontecorvo not only a human storehouse of knowledge about the Anglo-American-Canadian atomic projects but also a first-rate scientific brain.

All'arrivo alla stazione di Mosca i Pontecorvo vengono accolti da un giovane alto ed elegante. Di quel giovane ufficiale del KGB Pontecorvo ne conserva un ricordo affettuoso:

Mi aiutò molto. Era lui a risolvere i nostri problemi, era un uomo tranquillo, intelligente e colto. [M. Mafai - Il lungo freddo]

Chiuso con la famiglia nella casa di Mosca, per ragioni 'di vigilanza', Pontecorvo studia il russo e legge i classici della letteratura francese. Il figlio Gil ricorda che suo padre 'usciva tutte le mattine ma non diceva dove andava e noi non lo chiedevamo'. A Mosca Pontecorvo viene interrogato a lungo, si vuole sapere che aiuto può dare agli studi sulla bomba atomica.

'Forse la parola interrogatorio è troppo forte' - afferma il fisico nucleare Boris Joffe, grande esperto di reattori nucleari - 'diciamo che dovette presentarsi di fronte a una commissione di dieci scienziati, fisici, più alcuni membri del

partito. Gli fecero un sacco di domande, volevano sapere tutto quello che sapeva, le sue conoscenze teoriche sui reattori nucleari, i progetti in cui era stato impegnato e Pontecorvo rispondeva ma rimasero insoddisfatti perché non raccontò nulla che già non sapessero'. [archivio RAI, La storia Siamo Noi – Il caso Pontecorvo - Qual è il suo legame con la bomba atomica?]

### *Il Laboratorio di Problemi Nucleari di Dubna*

Nell'ottobre 1950 la famiglia Pontecorvo si stabilisce a Dubna, una cittadina a circa 150 km a nord- ovest di Mosca. A Dubna, che fino a pochi anni prima era un villaggio di contadini in un'ansa del Volga, è sorto da poco un importante centro di ricerche nucleari, il Joint Institute for Nuclear Researches (JINR). Presto la cittadina diviene il regno della ricerca pura, in cui lavorano centinaia di scienziati, ricercatori e tecnici.

'Nell' agosto del 1946' – scrive Venedikt Dzhelepov - 'il nostro Governo su iniziativa dell'accademico Kurchatov decise di costruire un laboratorio di ricerca di fisica nucleare e di dotarlo di un potente acceleratore, il più grande esistente al mondo, un sincrociclotrone. La macchina poteva accelerare deutoni (nucleo del deuterio, isotopo dell'idrogeno, costituito da un protone e da un neutrone) fino ad un'energia di 280 MeV, particelle alfa (nucleo dell'elio, costituita da due protoni e da due neutroni) fino a 560 MeV; infine, poteva accelerare protoni, inizialmente, fino a 460 e successivamente a 680 MeV. La costruzione della struttura procedette rapidamente e nel mese di dicembre 1949 il sincrociclotrone entrò in funzione. In gennaio gruppi di fisici del nostro laboratorio e di vari Istituti di Mosca iniziarono il loro lavoro di ricerca all'acceleratore di Dubna'. [B. Pontecorvo, Selected Scientific Works, SIF, pag. 487]

Immaginata da Kurchatov, la cittadina viene realizzata da Beriia, che utilizza come manodopera coatta i detenuti condannati ai lavori forzati. Dubna è una città chiusa, controllata dai militari e dal KGB.

Al centro di Ricerche Nucleari, Pontecorvo riprende il lavoro sulle particelle elementari. La sua vita nella 'città della scienza' è organizzata all'insegna del benessere ma anche della massima sicurezza. In questo periodo tutti gli scienziati sono sottoposti a un rigidissimo controllo da parte delle autorità russe, Bruno Pontecorvo in particolare.

Nel suo diario Boris Joffe annota:

All'epoca gli scienziati si trovavano nel più completo isolamento, non potevano nemmeno parlare tra loro se non tramite il capo progetto...Non si potevano prendere appunti e scrivere formule se non su un quaderno ufficiale che a fine giornata veniva consegnato e poi controllato periodicamente dalle autorità. Nel 1951 il mio capo andava a Dubna almeno una volta a settimana per parlare con Pontecorvo e al suo rientro ci diceva: 'Ho parlato con il professore', ma non pronunciava mai il suo nome anche se noi sapevamo che si trattava di lui. Era un tabù, non si poteva nemmeno nominare almeno fino al 1955!. [B. Joffe - Особо секретное задание. Из истории атомного проекта в СССР. «Новый Мир», 1999, No5]

‘La sua presenza fu tenuta nascosta per un motivo semplicissimo.’ - spiega Semion Gerhstein fisico dell’Accademia delle scienze di Mosca - ‘La sua fuga aveva creato un grosso scandalo, le autorità inglesi e americane lo avevano accusato di essere una spia, e quindi alla Russia non conveniva renderne pubblica la presenza, era meglio far calmare le acque, e così fecero’. [archivio RAI, La storia Siamo Noi – Il caso Pontecorvo – Il mistero del periodo russo]

### *La vita a Dubna*

Alla famiglia Pontecorvo viene assegnata una villetta a due piani a pochi passi dal Volga, con un giardino nel quale crescono un albero di susine e un pero. Pontecorvo è sorvegliato costantemente. Per allontanarsi oltre la zona autorizzata deve essere richiesto uno speciale permesso. I bambini vengono iscritti a scuola, ma anche lì, come al campo dei pionieri, nessuno pronuncia mai il loro cognome.

Il figlio Tito ricorda così quel periodo:

Per i primi due anni c’era un agente del KGB che seguiva mio padre dappertutto, anche a casa. Era diventato un uomo di famiglia. Diceva che era lì per proteggerci. E’ rimasto con noi due anni e poi è sparito. [archivio RAI, La storia Siamo Noi – Il caso Pontecorvo – Il mistero del periodo russo]

Dai colleghi Bruno viene chiamato alla maniera russa con nome e patronimico. Diventa Bruno Maximovic.

‘Mi chiedevo perché non mi chiamassero con il nome e il cognome interi. Non sapevo darmi una risposta di questa mancanza di rapporti. Si parlava di lavoro e solo di lavoro. Non mi sono mai incontrato con nessuno. Non sono mai andato nelle loro case. Sono stato completamente solo per molti anni.’ [M. Mafai - Il lungo freddo]

Bisogna attendere fino al 1955 prima che Bruno Maximovic riprenda il suo cognome, la sua piena identità. E’ la fine di febbraio e sulla Pravda appare una sua dichiarazione nella quale appoggia la campagna dei Partigiani della Pace per la distruzione di tutte le bombe atomiche ed il divieto di costruirne nuove. Pochi giorni dopo, il 4 marzo, alla presenza di giornalisti provenienti da tutto il mondo tiene una conferenza stampa nella sede dell’Accademia delle Scienze. La notizia rimbalza sulle pagine di tutti i quotidiani. Il giorno seguente il corrispondente da Mosca dell’Unità, Giuseppe Boffa, riporta la notizia in prima pagina. Dopo quella dichiarazione l’ambiente attorno a lui si fa più cordiale, meno riservato e sospettoso, la vigilanza si allenta. Pontecorvo può invitare a casa amici, colleghi, giovani studenti, per mangiare, ascoltare musica o discutere insieme qualche lezione particolarmente difficile. In questi anni, la sua è diventata una casa di soli uomini, disordinata e confusa. Col tempo infatti la moglie Marianne, da sempre schiva e solitaria, comincia a manifestare i sintomi di una malattia nervosa che spesso la costringe a lunghe permanenze in clinica.

A Bruno piace cucinare, stare in compagnia ma soprattutto ama molto scherzare. Il



fisico teorico Arkadii Migdal racconta che un giorno lui e Pontecorvo decidono di scrivere una falsa lettera a firma di Pauli e di farla pervenire a Landau. E' il 1958 e Landau è entusiasta degli ultimi articoli di Heisenberg in cui il famoso fisico teorico suggerisce una teoria unificata, non lineare, dei fermioni. Nella breve lettera, che Landau legge in un seminario, Pauli sostiene di aver trovato nuovi argomenti a favore della teoria di Heisenberg e che ci sono nuove prove sperimentali a sostegno di tale teoria. Tuttavia queste prove non sono menzionate esplicitamente ma solo accennate. La maggior parte dei partecipanti al seminario si esalta a questa notizia.

Qualcuno va persino alla lavagna e cerca di immaginare quali esperimenti possano essere. Migdal prende la lettera e dopo averla letta attentamente dice (con voce innocente):

Per favore, guardate. La prima lettera di ciascuna riga forma la parola russa "duraki" (sciocchi): cosa vorrebbe significare? [At the Frontier of Particle Physics - Handbook of QCD, World Scientific, vol 4.]

### *Lo sport e il tempo libero*

Da sempre Pontecorvo pratica diversi sport con notevole successo, specialmente il tennis. E' lui a proporre la costruzione del primo campo da tennis a Dubna. Sono note le sue partite con Fermi. L'unica critica che abbia mai mosso al suo maestro riguarda proprio le scarse capacità di Fermi in questo gioco.

Ama la montagna e adora sciare ma è anche appassionato di sci d'acqua e di pesca subacquea. Verso la fine degli anni cinquanta con il suo amico e collega, Arkadi Migdal, si reca in vacanza a Koktibel, una località balneare sul Mar Nero. Vuole provare l'attrezzatura da sub appena ricevuta dall'Italia. E' qui che conosce Rodam Amirejibi, una donna bellissima e molto colta, di nobili origini georgiane, che gli starà al fianco per quasi trent'anni. Grazie a lei, Bruno entra a far parte di un circolo di artisti, scrittori, cineasti, gente di teatro. E' il mondo elitario di Peredelkino, un bel villaggio in mezzo ai boschi a pochi chilometri da Mosca dove hanno le loro dacie molti dei più noti letterati sovietici.

Ma la grande passione di Bruno, oltre lo sport, è la scienza. Sostenitore attivo della diffusione della cultura scientifica presso tutti gli strati della popolazione tiene spesso lezioni nei luoghi più disparati, dai circoli di fabbrica alle navi della flotta dell'Estremo Oriente. Si interessa di problemi di genere più diverso, come le comunicazioni ferroviarie tra Dubna e Mosca o l'organizzazione di un gruppo teatrale presso la Taganka, il teatro dell'avanguardia sovietica.

### *La fede politica*

Nel 1952 Bruno Pontecorvo diventa cittadino sovietico. L'anno seguente, il 6 marzo 1953, all'età di 73 anni per emorragia cerebrale, muore Stalin. L'URSS è in lutto. La gente accorre davanti al feretro sulla Piazza Rossa, ma a Pontecorvo ancora non è consentito. A luglio, con un armistizio, termina la guerra di Corea. L'uso della bomba atomica contro la Cina accusata di prestare aiuto alla Corea del Nord è scongiurato, ma la minaccia atomica grava ancora sul mondo.

Nel suo discorso al Soviet Supremo, l'8 febbraio 1955, il compagno Molotov sottolinea la forza dell'URSS in quel campo. Gli Stati Uniti hanno nutrito l'illusione di una loro supremazia atomica,

ma gli scienziati sovietici, gli ingegneri, i tecnici e tutti coloro che hanno lavorato in questo campo, hanno ottenuto in un breve periodo di tempo dei risultati che dimostrano le possibilità eccezionali dello Stato Sovietico. Le cose sono giunte a tal punto che nella produzione delle armi all'idrogeno non è l'Unione Sovietica ma gli Stati Uniti che si trovano oggi nella posizione dei ritardatari.

Nella riunione della cellula del partito che si tiene nel suo laboratorio, Pontecorvo, iscritto al PCUS dal 1954, applaude insieme agli altri compagni, la relazione del segretario che riprende parola per parola il rapporto di Molotov al Soviet Supremo.

Meno di un mese dopo esordirà nella famosa conferenza stampa con queste parole:

Le potenze atlantiche hanno deciso di preparare la guerra atomica. Per costoro le armi nucleari sarebbero le armi legittime. Durante i quattro anni vissuti in URSS ho potuto convincermi che il popolo sovietico, tutto il popolo sovietico, vuole la pace e che il governo dell'URSS prende tutte le misure possibili per impedire una guerra. [archivio storico dell'Unità, 5 marzo 1955]

Pontecorvo è un comunista convinto; è un idealista che crede nella forza ispiratrice del comunismo nel mondo e nella correttezza del tipo di sviluppo scelto da parte dell'Unione Sovietica.

Il 25 febbraio 1956 nel corso di una riunione a porte chiuse dei delegati al XX Congresso del PCUS, il segretario del partito, Nikita Krusciov denuncia le purghe e le limitazioni alla libertà imposte dal regime di Stalin. Il processo di destalinizzazione ha ripercussioni nei paesi dell'Europa orientale, satelliti dell'Unione Sovietica. Quando l'Ungheria rivendica la sua neutralità e l'uscita dal patto di Varsavia Mosca soffoca nel sangue la rivolta. La mattina del 4 novembre i carri armati del generale Laschenk entrano a Budapest. Pontecorvo è tra i milioni di sovietici che condividono le decisioni di Krusciov. E' dalla stessa parte anche Giorgio Napolitano, allora giovane funzionario del Partito Comunista Italiano, che, all'indomani dell'invasione dei carri armati sovietici a Budapest, sostiene che si tratti di un elemento di 'stabilizzazione internazionale' e addirittura di un "contributo alla pace nel mondo". Napolitano attacca con parole dure Giolitti e Nenni contrari all'intervento militare sovietico. Molti anni dopo il presidente Napolitano, riconoscerà pubblicamente l'errore commesso ammettendo che entrambi gli esponenti del PCI avevano ragione. Giolitti insieme ad altri funzionari lascia il PCI e anche Gillo, il fratello prediletto di Pontecorvo, restituisce la tessera del partito. Ma la fede di Pontecorvo nel comunismo ancora non vacilla.

Il lancio dello Spuntnik, il primo satellite artificiale (4 ottobre 1957) e quattro anni dopo del primo uomo nello spazio, Jurij Gagarin (12 aprile 1961), segnano un periodo di grande orgoglio per l'URSS e di riconoscimento mondiale delle conquiste della scienza sovietica.

Provai una grande felicità e una grande emozione...’ - racconta Pontecorvo a Miriam Mafai - ‘Fu il momento di massimo prestigio della scienza sovietica anche se già allora avremmo dovuto capire che si stava commettendo l’errore di concentrare tutto lo sforzo in una sola direzione, quello della ricerca spaziale, mentre altri settori ne soffrivano. Mandavano la navicella nello spazio, ma non riuscivano a fornire il paese di dentifricio o carta igienica... [M. Mafai - Il lungo freddo]

Accusato di aver commesso errori politici durante la crisi dei missili di Cuba nel 1962 e di aver organizzato male l’economia sovietica, soprattutto nel settore agricolo, il 13 ottobre 1964 Krusciov viene costretto a dare le dimissioni da Primo Ministro dell’unione Sovietica. In quell’occasione Pontecorvo conosce Enrico Berlinguer, giovane dirigente del PCI e segretario regionale del Lazio, mandato a Mosca per chiedere chiarimenti sul ‘pensionamento anticipato’ di Krusciov. Sale alla guida del partito come primo segretario e poi dal 1966 come segretario generale, Leonid Breznev. In un primo tempo le maglie della censura sembrano allargarsi ma con l’invasione di Praga, nell’agosto del 1968 si chiude la prima fase brezneviana. L’invasione della Cecoslovacchia è conseguenza della linea politica estera applicata da Breznev, nota come la ‘politica della sovranità limitata’. Nel suo discorso davanti al quinto congresso del Partito Operaio Polacco, il 13 novembre 1968, Breznev dichiara :

Quando le forze che sono ostili al socialismo cercano di portare lo sviluppo di alcuni paesi socialisti verso il capitalismo, questo non diventa solo un problema del paese coinvolto, ma un problema comune ed una preoccupazione per tutti i paesi socialisti.

Pontecorvo ricorda bene quel mese di agosto: fa un caldo insopportabile, sta attendendo insieme al corrispondente dell’Unità, Adriano Guerra, la visita di Luigi Longo divenuto segretario del PCI alla morte di Palmiro Togliatti. Ma Longo non arriva. Informato della notizia dell’invasione della Cecoslovacchia rientra in Italia. Anni dopo, Pontecorvo durante un’intervista della Mafai, confessa:

Forse è lì, a Praga, che è morto il socialismo, la mia idea del socialismo. [M. Mafai - Il lungo freddo]

Quattro giorni dopo l’invasione dei carri armati che ha posto fine alla primavera di Praga, otto persone protestano con vari striscioni sulla Piazza Rossa. Vengono tutti arrestati. E’ la prima manifestazione pubblica di dissenso. Pur condannando l’invasione Pontecorvo non si unisce alle voci di protesta capeggiate dal fisico Andrej Sacharov, padre della bomba atomica sovietica.

In quel tempo pensavo che Sacharov avesse qualche ragione ma lo giudicavo un terribile ingenuo dal punto di vista politico. - afferma Pontecorvo molti anni dopo - Ci ho messo molto tempo a capire che era lui ad avere ragione. L’ingenuo ero io. [M. Mafai - Il lungo freddo]

### *Lo scienziato*

A Dubna Pontecorvo diviene il capo della divisione di fisica sperimentale del Laboratorio di Problemi Nucleari.

Sotto la sua direzione, all'acceleratore per protoni di Dubna, il più potente al mondo fino alla nascita del CERN, vengono condotte una serie di ricerche nel corso delle quali è osservata per la prima volta la produzione di particelle neutre, dette pioni, nelle collisioni nucleone-nucleone. Per queste ricerche e per i suoi meriti scientifici ottiene nel 1953 il Premio Stalin. Compie diversi esperimenti in cui vengono stabilite alcune proprietà fondamentali del muone. Colpito dai risultati della esperienza di Conversi, Pancini e Piccioni (1947) nella quale i tre fisici dimostrano che il muone, all'epoca chiamato mesotrone perché dotato di una massa intermedia tra quella dell'elettrone e del protone, non interagisce attraverso la forza forte con il nucleone e pertanto non è l'ipotizzata particella di Yukawa, Pontecorvo intuisce la profonda analogia tra il muone e l'elettrone.

Egli osserva che i processi di cattura nucleare di queste particelle hanno probabilità comparabili e predice che l'interazione tra muone e protone avvenga secondo lo schema:  $\mu^- + p \rightarrow \nu_\mu + n$ .

Nel 1958 studiando i processi di cattura muonica sui nucleoni con il collega Muckhin e successivamente, nel 1961, con Sulyaev, dimostra:

- la dipendenza dall'energia dell'asimmetria degli elettroni emessi da parte di muoni polarizzati, in accordo con la teoria del neutrino a due componenti [B. Pontecorvo, Selected Scientific Works, SIF, pag. 155, 1958]

- la natura 'neutrinica' della particella neutra emessa quando il muone è catturato dai nuclei (reazione  $\mu^- + {}_3\text{He} \rightarrow {}_3\text{H} + \nu$ ), ottenuta in una camera a diffusione riempita di  ${}_3\text{He}$ . [B. Pontecorvo, Selected Scientific Works, SIF, pag. 200, 1962]

Inoltre, molto importanti sono i suoi studi sull'assenza dei processi  $\mu^- \rightarrow e + \gamma$  e  $\mu^- \rightarrow e + e + e$ . [B. Pontecorvo, Selected Scientific Works, SIF, pag. 196, 1962]

Nel 1951 nota l'apparente contraddizione tra l'alta probabilità di produzione di certe particelle che oggi vengono chiamate strane e la loro lunga vita media e nel 1953 predice, indipendentemente da Pais, la legge di produzione associata dei mesoni K e degli iperoni. Con Selianov dimostra che nucleoni con energia di 700 MeV non producono le reazioni  $N \rightarrow N + \Lambda^0$  e  $n + n \rightarrow \Lambda^0 + \Lambda^0$  in contraddizione con i risultati di Schein considerati giusti, all'epoca. [B. Pontecorvo, Selected Scientific Works, SIF, pag. 129, 1955]

La profonda intuizione scientifica e la tempra di uomo e di scienziato si rivelano in tutta la loro misura nei dibattiti sul problema fondamentale dell'esistenza di due tipi di neutrino, alla cui soluzione egli fornisce un apporto determinante. Il suo lavoro 'Электронные и мюонные нейтрино (neutrino elettronico e muonico)' segna l'inizio della fisica dei neutrini ad alta energia. [B. Pontecorvo, Selected Scientific Works, SIF, pag. 167, 1959]

Sono indicativi l'entusiasmo e l'energia con cui nei seminari, nei consigli scientifici,

nelle conferenze discute i metodi per provare sperimentalmente l'ipotesi dell'esistenza di due diversi tipi di neutrini: quello elettronico e quello muonico.

La verifica sperimentale dell'intuizione di Pontecorvo, cioè che i neutrini associati agli elettroni sono diversi da quelli associati ai muoni, viene dagli scienziati americani Jack Steinberger, Leon Lederman e Melvin Schwartz che per questo ricevono il Premio Nobel nel 1988.

Dal 1957 al 1967 Pontecorvo si dedica a una serie di problemi connessi con la massa del neutrino e con la possibilità di violazione della carica leptonica, come il doppio decadimento  $\beta$  senza emissione di neutrino e le oscillazioni tra diversi stati di neutrino. Pontecorvo propone e sviluppa l'idea che il neutrino di un tipo si possa trasformare nel neutrino di un altro tipo. Le sue ricerche in questo campo condotte in collaborazione con Bilenky e Gribov, hanno aperto nuovi orizzonti nella fisica delle particelle e nell'astrofisica, dando origine a un gran numero di indagini sperimentali in tutto il mondo.

L'esistenza delle oscillazioni di neutrino è stata verificata per la prima volta nel 1968. In un esperimento condotto nella miniera di Homestake, negli Stati Uniti, Davis osserva che il flusso dei neutrini solari è circa un terzo di quello aspettato. Recentemente le oscillazioni sono state confermate per i neutrini atmosferici (esperimento Super Kamiokande in Giappone, 1998) e utilizzando fasci di neutrini prodotti da acceleratori (esperimento MINOS al Fermilab, 2006, e OPERA ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 2010). Il più stretto collaboratore di Pontecorvo, il fisico Samoil Bilenki, ha commentato così la scoperta dell'esistenza delle oscillazioni di neutrino:

The experimental establishment of neutrino oscillations can be considered a real triumph of Bruno Pontecorvo who first introduced this concept and pursued this idea for many years when the general consensus did support massless neutrinos, with no possibility of Oscillations.

Per i meriti acquisiti nel promuovere lo sviluppo della fisica nucleare e per la sua intensa attività sociale Bruno Pontecorvo è insignito nel 1963 dell'ordine di Lenin e di due ordini della Bandiera Rossa del Lavoro. Nel 1964 è eletto membro dell'Accademia delle Scienze dell'URSS. Diventa titolare della cattedra di fisica delle particelle elementari e membro del consiglio scientifico della facoltà di Fisica dell'Università statale di Mosca dal 1961.

Dal 1971 al 1990 è direttore del Dipartimento 'Interazioni deboli e elettromagnetiche' di JINR.

## **7. Il rientro e il disgelo**

### *Il rientro in Italia*

Il 6 settembre 1978, dopo 28 anni, Bruno Pontecorvo, accompagnato da due guardie del corpo, ritorna, ma solo per pochi giorni, in Italia. L'occasione è la celebrazione del 70esimo compleanno di Edoardo Amaldi, suo vecchio amico, unico del gruppo romano di Fermi rimasto a lavorare in Italia, al quale lo legano tanti ricordi ed esperienze comuni.

Non ho parole per descrivere la mia emozione nel trovarmi di nuovo all'Istituto di Fisica di Fermi, Amaldi, Rasetti e Segré, Majorana e Wick... [M. Mafai - Il lungo freddo]

Appena sceso dall'aereo è assalito da un'orda di giornalisti e cineoperatori che lo assediavano per carpirgli qualche dichiarazione. Alle TV e alla stampa confessa: Io subito vi voglio svelare un gran segreto. Io non ho mai, dico mai, lavorato alla bomba atomica, alla bomba all'idrogeno o ad altre bombe, né in Occidente né in Russia né in Cina né altrove.

Dopo quella prima volta ritorna molte altre volte in Italia. Partecipa a convegni e incontri scientifici, si reca ai Laboratori del Gran Sasso (tra i più grandi laboratori sotterranei del mondo in cui si realizzano esperimenti di fisica delle particelle), visita città toscane che, pur essendo toscano, non conosceva. L'incontro con Miriam Mafai incontra Bruno nell'agosto del '90 a casa del fratello Gillo a Fregene e poi, successivamente, molte altre volte a Roma, Pisa, Parigi e Mosca. Durante una delle sue ultime interviste a Roma, alla Mafai che gli chiede se è pentito di aver fatto quella scelta, quarant'anni prima, Pontecorvo risponde:

Ci ho pensato molto, a questa domanda. Puoi immaginare quanto ci ho pensato. Ma non riesco a dare una risposta. Io credo di essere sempre stato una persona per bene, anche se alle volte forse ho fatto delle scelte sbagliate; ma cosa è più importante, fare le scelte giuste o essere una persona per bene? [M. Mafai - Il lungo freddo]

Affetto dal morbo di Parkinson, Pontecorvo muore a Dubna il 24 settembre 1993. Le sue ceneri, per sua espressa volontà, sono deposte metà a Roma nel cimitero acattolico degli Inglesi e metà nel piccolo cimitero di Dubna. L'epigrafe sulla sua lapide nel Cimitero di Roma è un riconoscimento all'originalità della sua idea che il neutrino associato al muone sia diverso da quello dell'elettrone.

### *Premi e riconoscimenti*

Nel 1982 Pontecorvo è nominato membro straniero dell'Accademia dei Lincei e nel 1991 l'Università di Ferrara gli conferisce la laurea honoris causa in fisica.

Lo ricordo all'Università di Ferrara quando quella Università, la stessa in cui aveva lavorato Copernico, gli assegnò la laurea honoris causa. Avvolto nella toga nera, il viso pallido incorniciato dalla gorgiera di pizzo bianco, la magrezza spettrale, sembrava emergere da un ritratto di El Greco. [M. Mafai - La Repubblica, 4 ottobre 2000]

Nel 1991 riceve il Premio 'I Delfini d'Argento. Una vita per la scienza', istituito dalla Pubblica Assistenza del Comune di Cascina per 'aver partecipato ad alcuni dei momenti più significativi connessi con lo sviluppo delle conoscenze sull'energia nucleare e sulle sue ampie possibilità di utilizzazione'.

È il prof. Luigi Arialdo Radicati di Brozolo della Scuola Normale a consegnargli il premio.

Alla Pubblica Assistenza lo ricordano ancora oggi con affetto e commozione:

Dopo la premiazione, durante il soggiorno a Pisa andammo insieme a cercare funghi, sembrava di essere tra amici. Lo accompagnammo poi, prima a Cortona e in seguito a Roma dai suoi parenti; era un uomo di straordinaria umanità.

Il premio Pontecorvo. Nel 1995 il Joint Institute for Nuclear Research di Dubna istituisce in suo onore il Premio Pontecorvo, attribuito annualmente al fisico che ha contribuito maggiormente alla ricerca nel campo delle particelle elementari. Nell'anno del centenario della nascita di Bruno Pontecorvo, il prestigioso premio è stato assegnato al fisico italiano Ettore Fiorini, ricercatore dell'INFN e professore emerito all'Università di Milano-Bicocca. La cerimonia ha avuto luogo a Dubna il 22 febbraio 2013.

Bruno Pontecorvo, un genio in campo scientifico e una personalità eccezionale, rimarrà nei cuori di tutti coloro che hanno avuto la fortuna di incontrarlo e di lavorare con lui.

Egli merita il totale riconoscimento e il profondo rispetto di tutto il mondo scientifico.

## 8. Il Nobel mancato

Bruno Pontecorvo non ha mai ricevuto il premio Nobel per la Fisica ma a seguito delle sue intuizioni e proposte in seguito realizzate da altri, sono stati assegnati i seguenti premi Nobel:

1988 - L. Lederman, J. Steimberger e M. Schwarz, 'for the neutrino beam method and the demonstration of the doublet structure of the leptons through the discovery of the muon neutrino'. Hanno verificato sperimentalmente la predizione di Pontecorvo che i neutrini associati agli elettroni fossero diversi da quelli associati ai muoni.

1995 - F. Reines, 'for the detection of the neutrino'. Ha utilizzato il metodo suggerito da Pontecorvo per rivelare gli antineutrini prodotti nei reattori nucleari.

2002 - R. Davis e M. Koshiba 'for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos'. Hanno utilizzato il metodo radiochimico suggerito da Pontecorvo che utilizza la trasmutazione di nuclei di cloro in argon per rivelare i neutrini solari.

## 9. La Scienza di Bruno Pontecorvo

Una mostra sulla figura di Bruno Pontecorvo non può essere completa se non si cerca di rendere il visitatore partecipe dell'eredità scientifica che Bruno ha lasciato. E questo non può essere fatto che nell'ultima sala: il visitatore nel tornare nel mondo di tutti i giorni si sente arricchito dall'esperienza della mostra, tanto quanto il mondo stesso si sente arricchito dal lascito scientifico di Bruno.

Il fulcro attorno al quale ruotano le idee, le scoperte, le intuizioni di Bruno è la teoria di Fermi del decadimento  $\beta$ . Per questo motivo al centro della sala sta il pannello che ne spiega i tratti salienti, necessariamente più complesso, ma che fornisce la filigrana sul quale sono sviluppate le idee presentate nei pannelli successivi.

L'universalità delle interazioni deboli è collegata allo studio delle proprietà del muone. La presenza elusiva dei neutrini, siano essi di origine cosmica, solare o artificiale, ci

accompagna, attraverso il fenomeno dell'oscillazione, nella scoperta delle famiglie dei costituenti della materia.

### *La teoria di Fermi del decadimento Beta*

Nel 1934 Enrico Fermi inventò un modello semplice e brillante per descrivere il decadimento radioattivo con l'emissione di un elettrone (decadimento- $\beta$ ). Egli basò il suo modello sull'elettrodinamica quantistica formulata da Dirac, nella quale due elettroni che si muovono (chiamati 'correnti') esercitano una forza l'uno sull'altro attraverso lo scambio di fotoni (particelle di luce). Nell'interazione fra due elettroni, letta da sinistra verso destra, i segmenti rappresentano le correnti (elettroni che si muovono) mentre la linea ondulata rappresenta l'emissione di un fotone da parte di una corrente e l'assorbimento da parte dell'altra.

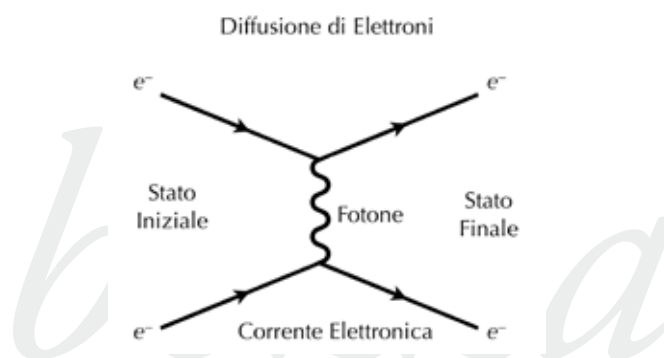


Figura 0.1. Schema di diffusione di elettroni mediato da un fotone, mediatore dell'interazione elettromagnetica

Nel decadimento- $\beta$  un neutrone si trasforma in un protone, un elettrone ed un antineutrino, come schematizzato dal disegno seguente:

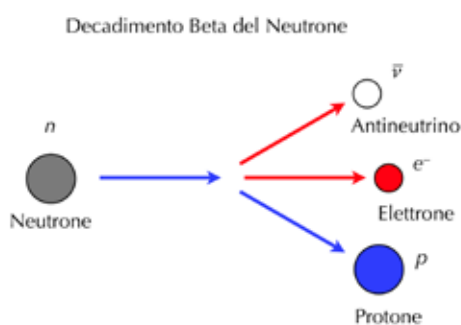


Figura 0.2. Il decadimento del neutrone

Per spiegare questa reazione nel linguaggio delle correnti, Fermi partì da una possibile interazione elementare fra due correnti, ognuna con una carica 'debole' (per distinguerla dalla carica elettrica). Contrariamente all'interazione elettromagnetica (che ha un raggio d'azione infinito) l'interazione debole ha un raggio limitato e le due correnti interagiscono direttamente in uno stesso punto. È così che la corrente del neutrone 'guadagna' una carica trasformandosi nella corrente del protone, mentre la corrente del neutrino 'perde' una carica trasformandosi nella corrente di elettrone.



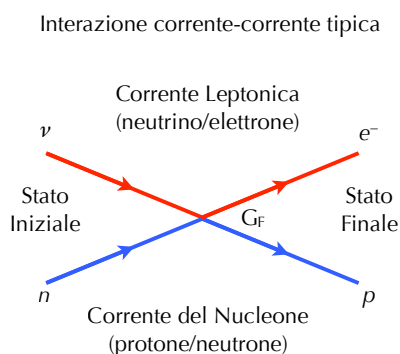


Figura 0.3. Interazione debole tra un protone ed un elettrone nel linguaggio delle correnti

In analogia con la corrente elettrica, ogni corrente debole è rappresentata da una particella (segmento di freccia) che trasporta carica debole. Al punto di interazione le due correnti si scambiano un quanto di questa carica.

Il diagramma può descrivere processi diversi, a seconda dello stato iniziale e finale. Le ‘particelle’ sono rappresentate da frecce che puntano verso lo stato finale, le ‘antiparticelle’ da frecce che puntano nella direzione opposta. Tutte le reazioni descritte dallo stesso diagramma hanno la medesima intensità.

Tornando al decadimento del neutrone, Fermi notò che il processo si poteva spiegare leggendo il diagramma precedente spostando il neutrino nello stato finale, trasformandolo in antineutrino. In questo modo riuscì a calcolare la probabilità del processo, proporzionale al quadrato della costante  $G_F$ , che oggi viene chiamata ‘costante di Fermi’. Vediamo come vengono descritte in questo nuovo linguaggio alcune interazioni.

Nel decadimento  $\beta$  del neutrone, il neutrone è l’unica particella nello stato iniziale, ma l’interazione fra le due correnti ne provoca il decadimento. Il neutrone diventa un protone, e la carica in eccesso crea una particella (elettrone) ed un’antiparticella (anti-neutrino) tramite la corrente elettrone/neutrino. La freccia associata al neutrino punta all’indietro, verso lo stato iniziale, ad indicare la presenza di un anti-neutrino nello stato finale.

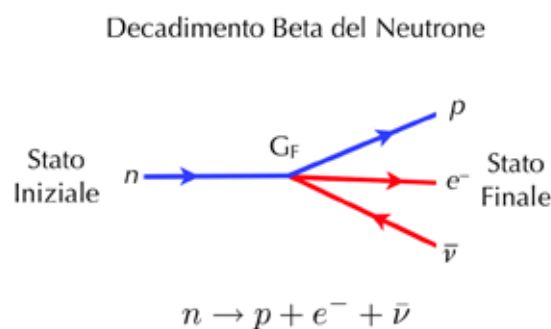


Figura 0.4. Il decadimento beta del neutrone nel linguaggio delle correnti

Nella cattura elettronica, nello stato iniziale, abbiamo sia una corrente protonica che una corrente elettronica. L’interazione fra le due correnti provoca lo scambio di un’unità di carica, di modo che il protone si trasforma in neutrone e l’elettrone in un neutri-

no. Il processo inverso (leggendo cioè il diagramma da destra a sinistra) è ugualmente possibile e descrive la rivelazione di neutrino mediante il suo assorbimento.

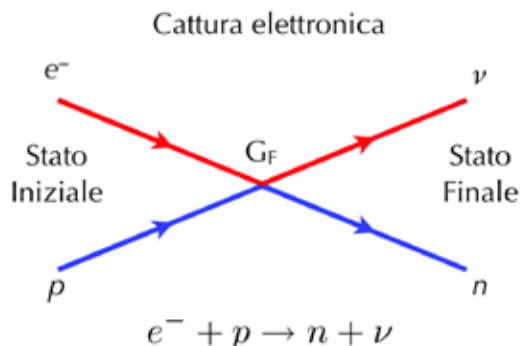


Figura 0.5. La cattura elettronica nel linguaggio delle correnti

Nel decadimento- $\beta$  inverso, nello stato iniziale abbiamo un(a corrente di) protone e un(a di) anti-neutrino. Lo scambio di carica debole causato dall'interazione fra le due correnti, l'anti-neutrino in positrone e il protone in neutrone. Di nuovo, le frecce rivolte all'indietro indicano che un anti dello stato iniziale si è trasformato in un anti-elettrone (positrone) nello stato finale.

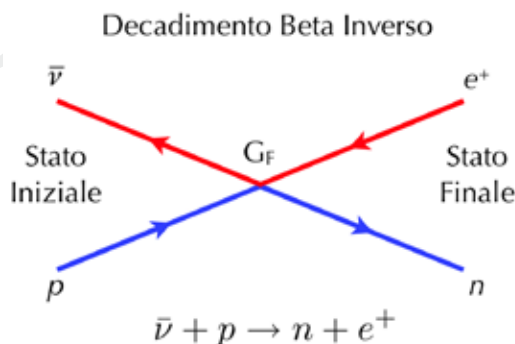


Figura 0.6. Il decadimento beta-inverso nel linguaggio delle correnti

### *Il muone: fratello maggiore dell'elettrone*

I raggi cosmici sono particelle elementari (protoni, nuclei leggeri) prodotte nello spazio a centinaia di migliaia di anni luce da noi e che arrivano sulla terra dando origine, a volte, ad altre particelle (elettroni, fotoni,...) in seguito al loro passaggio attraverso l'atmosfera.

Il muone, indicato dalla lettera greca  $\mu$ , fu scoperto nei raggi cosmici nel 1936 ed è una particella instabile, con vita media di circa 2.2 microsecondi.

All'epoca, protoni ed elettroni erano conosciuti quali costituenti della materia, e questa nuova particella, con massa intermedia fra quella dell'elettrone e quella del protone arrivò del tutto inaspettata.

Grazie ad un esperimento condotto dai fisici italiani M. Conversi, E. Pancini e O. Piccioni a Roma nel 1946, si scoprì che il muone era una particella del tutto identica

all'elettrone, ma con una massa circa duecento volte maggiore: un risultato del tutto inaspettato! Fino ad allora non si conoscevano esempi di tale familiarità fra particelle. Protone ed elettrone, per esempio, hanno non solo massa diversa, ma si comportano diversamente nell'interazione con le altre particelle. Muone ed elettrone sembravano essere invece due gemelli, diversi soltanto nel... peso.

Una differenza di massa, in fisica delle particelle, è particolarmente importante, in quanto per raggiungere il minimo dell'energia il fratello 'grasso' tenderebbe naturalmente a... perdere peso e trasformarsi nel fratello magro! Questo fenomeno prende il nome di decadimento radioattivo.

#### *La ricerca del decadimento $\mu \rightarrow e\gamma$*

Nei fenomeni di diseccitazione atomica o nucleare l'energia in eccesso viene emessa sotto forma di radiazione elettromagnetica (fotoni, o raggi- $\gamma$ ). In tali transizioni il fotone non è presente nell'atomo (o nel nucleo) prima della sua emissione, ma viene 'creato' contestualmente al decadimento stesso.

Per questo motivo Bruno Pontecorvo, mentre si trova in Canada nel 1947, pensa di fare un esperimento per ricercare la transizione  $\mu \rightarrow e\gamma$  come fonte di indicazioni preziose circa il 'rapporto di parentela' fra elettrone e muone. Ne parla anche nella corrispondenza con gli amici in Italia.

La ricerca di un fotone associato alla disintegrazione [del muone] è una questione di cui ci stiamo interessando da tempo [...]. Se hai da darmi notizie in questo senso mi farai molto piacere. [Gilberto Bernardini a Bruno Pontecorvo, 23 Settembre 1947]

Ad ogni modo, l'esperienza che proponi [...] mi pare fattibile [...]. Bisognerebbe organizzare le cose in modo che risulti che il quanto gamma e l'elettrone sono emessi in direzioni opposte [Gian Carlo Wick a Bruno Pontecorvo, 2 Giugno 1947].

Bruno, insieme al fisico canadese Ted Hinks, progetta e realizza una misura in cui fra i prodotti di decadimento del  $\mu$ , solo l'elettrone risulta visibile, ed emesso insieme ad altre particelle neutre e leggere dalle caratteristiche del tutto simili a quelle dei "neutrini", particelle allora ipotizzate per spiegare i decadimenti- $\beta$ .

Questa fu la prima osservazione della somiglianza del decadimento dei  $\mu$  a quello dei nuclei, che porterà Bruno ad ipotizzare l'universalità delle interazioni deboli.

Ancor oggi il decadimento  $\mu \rightarrow e\gamma$  non è stato trovato, sebbene i fisici continuino a cercarlo in quanto fondamentale per comprendere la teoria alla base dell'esistenza di 'famiglie di particelle'.

In particolare gli esperimenti Crystal Box e MEGA, prima, e poi MEG, presso il laboratorio PSI di Villigen (Svizzera) hanno posto limiti sempre più stringenti all'esistenza di questa transizione, confermando che nel decadimento del  $\mu$  i neutrini giocano un ruolo fondamentale.

Is there any connection between, say, the  $\mu \rightarrow e\gamma$  process and the phenomenon of neutrino oscillations? The observation of anyone of these effects would mean that there is lepton mixing. In this general sense and only in this sense the observation of the  $\mu \rightarrow e\gamma$  decay would make the existence of oscillations more likely, and conversely.” [B. Pontecorvo, Comments Nucl. Part. Phys. 1977, vol.7 n.5 149-152]

### *I Neutrini Solari*

Il Sole non è soltanto fonte di luce e di calore: le reazioni nucleari che lo tengono in funzione, in particolare la reazione di fusione nucleare dell'idrogeno in elio, producono anche neutrini.

Quattro nuclei di idrogeno (protoni) riescono, a causa delle particolari pressioni e temperature presenti sul Sole, a fondersi in un nucleo di elio (formato da due protoni e due neutroni) liberando energia. Nella reazione vengono emessi anche due positroni (elettroni di carica positiva) e due neutrini.

I positroni si annichilano immediatamente con gli elettroni presenti nel Sole producendo fotoni, che, a fatica, raggiungono la superficie solare (ci possono volere anche 10 milioni di anni perché questo succeda!) e vengono emessi in tutto l'universo sotto forma di luce visibile. I neutrini, invece, poiché interagiscono pochissimo, riescono a sfuggire la materia solare estremamente densa e, in meno di un secondo, sono irradiati per l'Universo.

Il Sole, dunque, oltre ad essere una grossa sorgente di luce, è anche una sorgente estremamente intensa di neutrini, i quali ci danno moltissime informazioni sul modo in cui sono stati prodotti, e in ultima analisi, sulle reazioni che avvengono all'interno del Sole stesso. La loro scarsissima interazione con la materia li rende però altamente elusivi e difficilmente rivelabili.

### *Rivelazione dei neutrini solari*

Bruno Pontecorvo si rese conto per primo che la stessa reazione di produzione dei neutrini, opportunamente rimaneggiata (si veda il pannello sulla teoria di Fermi del decadimento- $\beta$ ) poteva essere usata per rivelarne il passaggio sulla terra. Con un'intuizione capì che neutrini potevano interagire con alcuni elementi provocandone la trasmutazione in elementi diversi.

Grazie alla sua enciclopedica conoscenza degli elementi chimici, maturata durante gli anni di lavoro a stretto contatto con Fermi e Joliot-Curie, Bruno individuò come possibili candidati il Cloro e il Gallio, i quali, si sarebbero trasformati, se colpiti da neutrini, rispettivamente in Argon e Germanio.

L'idea di Bruno Pontecorvo fu perfezionata dal punto di vista sperimentale da Ray Davis jr. e John N. Bahcall alla fine degli anni '60. Bahcall fece i calcoli teorici mentre Davis disegnò l'esperimento, che si tenne a circa 1500 metri sotto terra nella miniera di Homestake nel South Dakota. L'esperimento rivelò per la prima volta l'esistenza dei neutrini solari, fruttando a Davis il premio Nobel per la fisica nel 2002.

Il flusso di neutrini solari misurato si trovò essere però pari a circa un terzo di quello

aspettato! Erano sbagliati i modelli? I calcoli vennero rifatti moltissime volte ed altri esperimenti indipendenti osservarono sempre questa differenza fra calcolo e misura sperimentale. A Pontecorvo venne in mente l'idea che nel viaggiare dal Sole alla Terra i neutrini della prima famiglia (neutrini elettronici) si trasformassero (oscillassero) in neutrini delle altre due famiglie, in modo che una volta giunti sulla terra solo un terzo dei neutrini originali era rimasto del sapore giusto.

Da allora moltissimi esperimenti hanno misurato il flusso di neutrini solari, ad esempio Homestake (USA), SAGE (Baksan, Urali), Gallex (Gran Sasso), SNO (Ontario), Borexino (Gran Sasso), Kamiokande e Superkamiokande (Giappone) allargando la nostra conoscenza sul Sole e sul suo funzionamento, oltre a dare un contributo fondamentale alla fisica delle particelle.

### *Le tre famiglie di neutrini*

Le investigazioni effettuate negli anni 1947-1950 intorno al decadimento della particella  $\mu$ , già incontrato in un altro pannello, stabilirono che nel suo decadimento venissero emesse tre particelle: un elettrone e due particelle neutre molto leggere ed elusive, chiamate all'inizio neutrino e neutretto. In realtà non era chiaro se le due particelle fossero identiche diverse. Tant'è che Bruno Pontecorvo già in un suo quaderno d'appunti cerciava le due particelle in maniera differente.

Con due particelle cariche e due particelle neutre veniva naturale immaginare che le due particelle neutre potessero appartenere, come le due particelle cariche, a due 'famiglie' distinte, e che esistessero quindi coppie di particelle, una carica ed una neutra, con relazioni privilegiate, ovvero che un tipo di neutrino si accompagnasse sempre all'elettrone e l'altro al muone.

L'idea per verificare sperimentalmente questa ipotesi venne in mente per la prima volta a Bruno Pontecorvo nel 1959, usando fasci intensi di neutrini prodotti da decadimenti del pione. Il pione (indicato dalla lettera greca  $\pi$ ) è una particella instabile che decade prevalentemente in muone e neutrino.

Pontecorvo pensò che se i due neutrini fossero stati identici, fasci intensi di neutrini provenienti da questo decadimento diretti contro un bersaglio avrebbero prodotto in egual quantità elettroni e muoni; al contrario, se  $\nu_e$  e  $\nu_\mu$  fossero state particelle distinte, solo muoni sarebbero apparsi nello stato finale.

'One may say that experiments planned to test the identity on  $\nu_e$  and  $\nu_\mu$ , though very difficult, must be seriously thought over when new intense accelerators are being designed.' [B. Pontecorvo, Zh. Eksp. Teor. Fiz. Vol. 37 (1959) 1751]

All'epoca (1959) si stava progettando a JINR di Dubna un sincrociclotrone per protoni di energia 800 MeV, che poteva essere usato per produrre i pioni per l'esperimento, ma non fu mai realizzato: tuttavia Pontecorvo aveva addirittura calcolato quale dovesse essere lo schermaggio necessario per proteggere l'esperimento da eventi esterni che si sarebbero potuti confondere con un segnale positivo, ad esempio quelli provenienti dalla radiazione cosmica.

L'esperimento cruciale fu fatto da Mel Schwartz, Leon Lederman e Jack Steinberger nel 1962 a Brookhaven, vicino a New York, dove era presente un acceleratore, chiamato AGS, costruito in maniera tale da poter produrre un fascio di neutrini sufficientemente intenso e collimato.

Il fascio di neutrini era generato dirigendo il fascio di protoni da 15 GeV dall'AGS su un bersaglio di Berillio. Pioni secondari producono neutrini decadendo in volo. Siccome l'interazione di neutrini è minutissima il rivelatore doveva essere schermato da 15 metri di ferro, per evitare di misurare particelle provenienti, ad esempio, dai raggi cosmici.

Vennero rivelati eventi in cui venivano prodotti in prevalenza muoni, e non elettroni, confermando quindi l'ipotesi che il neutrino si ricordasse del 'partner' che aveva al momento della sua creazione. Per questo esperimento Schwartz, Lederman e Steinberger vinsero il premio Nobel per la Fisica nel 1962.

In seguito alla scoperta del terzo fratello dell'elettrone, il  $\tau$ , un'ulteriore coppia di particelle ( $\tau$ ,  $\nu_\tau$ ) si è aggiunta al quadro, ed un terzo neutrino, diverso sia da  $\nu_e$  che da  $\nu_\mu$ , ha fatto la sua comparsa, ed è stato rivelato, ad esempio, dall'esperimento Opera, ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

L'idea di Bruno Pontecorvo di avere fasci di neutrini per studi di fisica è tutt'oggi all'avanguardia: moltissimi fasci sono stati realizzati nel passato e sono tutt'ora in uso per studi di oscillazione (un esempio su tutti: il fascio di neutrini dal CERN di Ginevra al Gran Sasso, ma ne esistono anche al Fermi National Accelerator Laboratory di Chicago e al laboratorio J-Parc in Giappone) ed altri sono in progetto.

L'intuizione della differenza esistente fra neutrino elettronico e neutrino muonico è talmente legata alla figura di Bruno Pontecorvo, da essere riportata sulla lapide che lo ricorda, nel Cimitero degli Ingleesi, a Roma.

### *L'universalità delle interazioni deboli*

La forza debole è una delle quattro forze fondamentali della natura e si esercita tra particelle molto diverse tra loro: i protoni e neutroni, l'elettrone, il muone, i vari tipi di neutrini. Tale forza è anche cruciale per il funzionamento e la stabilità delle stelle. L'osservazione originale di Pontecorvo fu che esisteva una sostanziale stessa probabilità tra l'assorbimento da un nucleo atomico di un muone e di un elettrone dell'atomo (cattura K). Il processo è collegato al decadimento beta ed era già calcolabile nella teoria di Fermi del 1934. Entrambe le reazioni sono quindi governate da una costante universale, quella di Fermi: ' $G_F$ ', caratteristica delle interazioni deboli, che determina la probabilità che il processo avvenga.

Negli anni '60 il fisico italiano Nicola Cabibbo formulò una teoria delle interazioni deboli tra quark: così come i leptoni sono organizzati in tre doppietti, anche i quark, che sono i costituenti elementari di protoni e neutroni, e anche di altre particelle più esotiche non stabili come, tra le altre, i pioni, i kaoni (chiamate generalmente adroni) sono organizzati in tre doppietti.

La trasformazione di un quark di un tipo in un quark di tipo diverso avviene, come nel caso dei leptoni, attraverso una interazione debole con un mediatore chiamato bosone  $W$  (equivalente al fotone, ma dotato di massa e di carica elettrica). Ad esempio, il decadimento beta si descrive in modo analogo al decadimento di un muone, cioè:

- uno dei quark di tipo  $d$  del neutrone si trasforma in un quark  $u$  con l'emissione di una particella virtuale  $W$  negativa che si materializza in un elettrone e un antineutrino.

Se l'energia di massa ( $mc^2$ ) del  $W$  è molto più grande delle energie scambiate dalle particelle nei vari processi, si può fare l'approssimazione, come fatto nella teoria di Fermi del decadimento beta, che le particelle interagiscano tutte in un unico punto dello spazio-tempo.

Nel caso dei quark, la transizione tra essi avviene all'interno dello stesso doppietto ( $u, d$ ), come nel caso dei leptoni. Tuttavia, a differenza dei leptoni, la transizione all'interno dei doppietti è solo favorita (è esclusiva nel caso leptonic); transizioni tra doppietti diversi sono possibili e sono regolate da un parametro: l'angolo di Cabibbo.

L'intuizione di Pontecorvo della universalità delle interazioni deboli è stata estesa con la creazione di una teoria che unifica sia le interazioni deboli che quelle elettromagnetiche la cui conferma più spettacolare si è avuta nel 1983 con la misura diretta delle particelle responsabili di questa interazione unificata elettro-debole: il  $W$  e lo  $Z$  dagli esperimenti UA(1) e UA(2) nelle collisioni tra protoni e antiprotoni del CERN. Questa misura è valsa a Carlo Rubbia il premio Nobel per la fisica nel 1984.

La descrizione unificata dei processi elettromagnetici e deboli, è, dopo la formulazione unificata dell'elettromagnetismo dovuta soprattutto a J.C. Maxwell alla fine dell'ottocento, uno dei passi più importanti nella direzione di una teoria fisica che riesca a inquadrare e spiegare in uno stesso schema logico-matematico tutti i fenomeni fisici.

Anche la fisica che viene studiata ai grandi acceleratori di oggi, come LHC, o nell'indagine dei fenomeni astrofisici, ricerca evidenze sperimentali che confermino le teorie che unificano anche le altre due interazioni: quella forte, che tiene insieme i nucleoni nel nucleo atomico e quella gravitazionale (la teoria del tutto).

In questo processo di unificazione dei processi fisici, l'intuizione di Bruno Pontecorvo rimane un passaggio fondamentale.

### *Oscillazione di neutrini*

Esistono tre tipi di neutrini chiamati elettronici, muonici e tauonici organizzati in doppietti (famiglie) con la corrispondente particella carica.

Un neutrino, interagendo con la materia genera il corrispondente partner carico: ad esempio un  $\nu_e$  produce un  $e^-$  conservando una quantità chiamata 'numero leptonic' elettronico. A ciascun doppietto di leptoni corrisponde un doppietto di antileptoni: ad esempio esiste anche il doppietto 'antineutrino elettronico, antielettrone (positrone)'.

L'ipotesi che neutrini di un tipo, ad esempio di tipo elettronico, come quelli solari, potessero oscillare, cioè trasformarsi in neutrini di altra famiglia, violando anche la

conservazione del numero leptonico, è stato proposto da B. Pontecorvo nel 1957 e nel 1962. Molti esperimenti sono effettuati nel mondo per verificare questa ipotesi con vari tipi di neutrini: solari, prodotti nell'atmosfera, da reattori nucleari, da acceleratori di particelle.

I neutrini emessi dal sole, di tipo elettronico, sono misurati tipicamente in esperimenti sotterranei dove, di tutte le particelle, solo i neutrini possono superare la barriera di roccia che funziona da filtro.

In Italia, nella caverna sotto il Gran Sasso, l'esperimento Gallex ha raccolto dati negli anni '90 misurando i neutrini attraverso il loro assorbimento da parte del Gallio che si trasforma così in Germanio:  $\nu_e + \text{Ga}^{71} \rightarrow \text{Ge}^{71} + e^-$ . Il Germanio è radioattivo e la misura del suo decadimento testimonia l'arrivo dei neutrino.

L'esperimento Borexino, attualmente in funzione al Gran Sasso misura la reazione  $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$ . L'elettrone, muovendosi nello scintillatore, emette luce che viene rivelata da grandi fotomoltiplicatori.

Questi esperimenti mostrano che, rispetto a quelli aspettati, circa solo il 40% di neutrini emessi dal sole arrivano sulla terra. Quelli mancanti si sono trasformati in neutrini di altra famiglia che sono invisibili ai rivelatori.

La prova più diretta dell'oscillazione tra neutrini viene dall'esperimento del G.Sasso, OPERA, che misura neutrini artificiali, di tipo muonico, provenienti dal CERN a circa 700 Km di distanza. L'oscillazione può produrre un neutrino tauonico che è rivelato in quanto produce un tau che decade rapidamente, dopo una traiettoria di una frazione di millimetro. La sua disintegrazione viene visualizzata da un misuratore di tracce di alta precisione. OPERA misura le tracce cariche prodotte dall'interazione di neutrino e quelle provenienti da un possibile decadimento del tau con una precisione spaziale dell'ordine del micron, avvalendosi dell'impressione lasciata in emulsioni fotografiche.

Una condizione perché i neutrini possano oscillare è che abbiano anche massa. Lo studio delle oscillazioni tra neutrini ci fornisce quindi informazioni importanti su nuove teorie delle particelle elementari ed è fondamentale anche per la comprensione della struttura e dell'evoluzione dell'universo.

Per saperne e per vederne di più visitate il sito web della Mostra:  
[www.pontecorvopisa.it](http://www.pontecorvopisa.it)





