

Francesca Carta
Classe V C

BRUNO PONTECORVO

UN FISICO AL TEMPO
DELLA GUERRA
FREDDA



Liceo Scientifico Galileo Galilei

BRUNO PONTECORVO

Un fisico al tempo della guerra fredda

1.Introduzione	3
1.1 I “ragazzi” di via Panisperna	
1.2 Bruno Pontecorvo e i neutrini	
2. “Il lungo freddo”	5
2.1 La formazione e la scuola di via Panisperna	
2.2 L’esperienza parigina	
2.3 Il periodo americano	
2.4 Una vita deviata	
2.5 Il lungo freddo	
2.6 Epilogo	
3. La guerra fredda. Riflessione sulle cause	14
4. Bruno Pontecorvo e lo studio sui neutrini	18
4.1. Breve introduzione sulle particelle elementari	
4.2 Il neutrino	
4.3 La scoperta dei neutrini	
4.4 Fonti dei neutrini	
4.5 Applicazioni dei neutrini in astrofisica	
4.6 Rilevamento dei neutrini	
4.7 Laboratori nazionali del Gran Sasso	
5. Sitografia e bibliografia	29

1. INTRODUZIONE

1.1 I “RAGAZZI” DI VIA PANISPERNA

L’istituto di fisica di via Panisperna ha rappresentato uno dei momenti più importanti della fisica italiana. I “ragazzi”, che ne fecero parte, studiarono e compresero le proprietà dei neutroni lenti, dando così l’avvio agli studi sulla fissione nucleare, che portarono alla bomba atomica.



Il gruppo comprendeva giovani studenti della facoltà di fisica di Roma: Edoardo Amaldi, Franco Rasetti, Emilio Segrè, il chimico Oscar D’Agostino, Bruno Pontecorvo e Ettore Majorana.

Il coordinatore del gruppo era il geniale Enrico Fermi, che già a venticinque anni era stato nominato professore di fisica teorica e Accademico d’Italia.

L’istituto nacque alla fine degli anni venti del Novecento, quando il regime fascista aveva già preso il potere. Al tempo però non erano ancora iniziate le discriminazioni antisemite e il regime garantì a questi giovani scienziati, di cui molti di origine ebraica, le migliori condizioni di lavoro per lo sviluppo della ricerca italiana.

Ma nell’autunno del 1938 iniziò la diaspora. Il regime si fece sempre più dittatoriale, l’Europa era sull’orlo della guerra e in Italia vennero promulgate le leggi razziali. I ragazzi di via Panisperna si videro così obbligati ad emigrare all’estero, presero strade diverse e andarono ad arricchire la ricerca scientifica di altri paesi.

Le vite di molti di questi scienziati, che amarono appassionatamente solo il loro lavoro, la scienza, ma che si trovarono catapultati dagli eventi nella “guerra fredda” e in anni dove uno scienziato rappresentava l’arma più potente di un paese, sono emblematiche: il progetto Manhattan, la scomparsa di Majorana, la fuga di Pontecorvo...

Tutto questo accadeva negli anni che dalla seconda guerra mondiale vanno al tempo della guerra fredda.

1.2 BRUNO PONTECORVO E I NEUTRINI



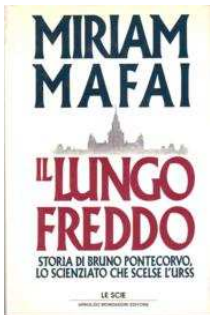
In questo contesto si sviluppa il mio interesse per la vicenda professionale e umana di Bruno Pontecorvo, la cui scelta apparve inizialmente come una scomparsa e per tanto assimilabile a quella di Ettore Majorana, le cui storie sono state raccontate da due autori italiani: Leonardo Sciascia scrive nel

1975 “La scomparsa di Majorana” e Miriam Mafai nel 1992 “Il lungo freddo”.

La “scomparsa” in realtà è una scelta anticonvenzionale e fortemente ideologica, che per lo scienziato significò una scelta di vita: l’adesione al progetto politico che si stava realizzando in Unione Sovietica. Inizialmente si pensò a Bruno Pontecorvo come a una spia sovietica, che avrebbe svelato il segreto della bomba all’Urss, ma l’ipotesi si dimostrò errata, in quanto il fisico italiano non si occupò mai della creazione della bomba, né negli Stati Uniti, né in Russia. Le sue ricerche furono invece rivolte allo studio di alcune particelle elementari, come il neutrino, che non avevano nessuna valenza bellica. Pontecorvo ha portato un grandissimo contributo alla fisica dei neutrino e alle ricerche sul particolare fenomeno della loro oscillazione.

Al tempo non si poteva sapere se le ricerche sul neutrino fossero di qualche utilità pratica. Ma oggi è la nuova frontiera delle conoscenze in fisica delle particelle e in fisica astro particellare. I neutrini possono fornirci importantissime informazioni di tipo astrofisico sui processi che si svolgono all’interno del Sole e nei deboli e ancora mal distinguibili segnali di fenomeni astrofisici lontani, come i collassi stellari. Come l’astronomia classica usa la luce in quanto veicolo di informazione, avremo forse un giorno una “astronomia di neutrini”, con i telescopi sostituiti da grandi rivelatori di neutrini cosmici. I neutrini possono inoltre darci informazioni sulla composizione della materia oscura, la grande massa “fantasma” dell’universo.

2. “IL LUNGO FREDDO” STORIA DI BRUNO PONTECORVO LO SCIENZIATO CHE SCELSE L’URSS



“Il lungo freddo” (pubblicato nel 1992) è il racconto della vita del fisico Bruno Pontecorvo, scritto dalla giornalista Miriam Mafai, redattrice di L’Unità e, in seguito, co-fondatrice e editorialista di Repubblica.

La Mafai è stata iscritta al PCI ed è stata compagna di Palmiro Togliatti, dirigente dello stesso partito. Il saggio è costituito da un Prologo, in cui l’autrice racconta di come “uno straniero” che “ indossava pantaloni di lino bianco e una maglietta aperta sul collo” abbia lasciato la sua Vanguard H.V.C.744 in una officina romana per la manutenzione – era la fine di agosto 1950 – e non sia mai più passato a ritirarla; e poi da una Parte prima, in cui si racconta della sua famiglia, del suo contesto culturale, della sua formazione, della “diaspora” dei fisici di via Panisperna, a cui segue una Parte seconda, dove l’autrice ripercorre gli anni “ sovietici” di Pontecorvo, le sue ricerche, le motivazioni della sua scelta, fino al tempo del dissenso e al suo ritorno in Italia, il 6 settembre 1978.

1 settembre 1950 – 6 settembre 1978 : “ Il lungo freddo”

Il saggio si conclude con un Epilogo, dove la Mafai e il fisico Pontecorvo tentano qualche bilancio, di cui si parlerà in questo lavoro.

2.1 LA FORMAZIONE E LA SCUOLA DI VIA PANISPERNA

Bruno Pontecorvo nasce a Pisa nel 1913, quarto di otto figli. La sua famiglia è di origine ebraica. I genitori sono laici, colti e liberali e non tollerano la minima distrazione o negligenza negli studi dei figli, che fanno, fin da piccoli, di dover frequentare l’università. Bruno infatti si iscrive alla Facoltà di ingegneria a Pisa, con due anni di anticipo rispetto ai suoi coetanei. Ingegneria, però, non lo appassiona molto, frequenta regolarmente le lezioni , ma è scontento. Così decide di iscriversi alla Facoltà di fisica, e quando annuncia la sua decisione in famiglia, suo fratello Guido afferma: “Se vuoi studiare fisica devi andare a Roma. Lì ci sono Fermi e Rasetti e la fisica in Italia si può fare solo con loro”. Sostenuto dalla famiglia, Bruno così decide di andare a Roma per sostenere l’esame di ammissione al terzo anno. In quegli anni Enrico Fermi, riconosciuto come un genio da tutta la comunità scientifica internazionale, appena ventinovenne, è accademico d’Italia e titolare della cattedra di fisica a Roma. Bruno, dopo essere stato esaminato da Franco Rasetti e dallo stesso Fermi, viene ammesso alla facoltà di fisica nel 1931.

Bruno Pontecorvo non è appassionato solo di fisica, ama giocare a tennis, nuotare e in generale praticare sport all'aria aperta, è una persona ironica, positiva, disponibile e molto umile. Non pensa mai di essere dotato di un intelletto eccezionale e sottovalutava le proprie capacità. Questo forse è collegato ad un episodio della sua infanzia, che lui racconta: “Ma 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.”

Il gruppo di via Panisperna, formato da Amaldi, Segrè, Rasetti e Fermi, è molto affiatato e Bruno viene rapidamente adottato con il nomignolo di “cucciolo”. In quegli anni, all’istituto di via Panisperna, Bruno assiste al celebre esperimento sui neutroni lenti che dà l’avvio alle ricerche sulla fissione del nucleo atomico ed alle sue applicazioni. Al tempo però nessuno pensa che quegli esperimenti possano essere di una qualche utilità pratica, e nessuno pensa di essere di fronte ad un nuovo tipo di reazione nucleare: la fissione. Solo Ettore Majorana, un fisico teorico, intuisce qualcosa, forse sente lo sgomento per il meccanismo che a via Panisperna è messo in moto e tra le ipotesi della sua sparizione c’è anche quella che suppone la rinuncia volontaria a dare seguito a quelle ricerche.

2.2 L’ESPERIENZA PARIGINA

È il 1936, e il ministero dell’Educazione nazionale offre a Bruno Pontecorvo una borsa di studio che gli consenta di passare qualche tempo presso un laboratorio di importanza internazionale. Così Bruno, su suggerimento di Fermi, decide di andare a Parigi, nei laboratori di Joliot-Curie. Frederic Joliot e Irene Curie avevano scoperto la radioattività artificiale, che ha meritato loro il premio Nobel nel 1935.

Nei laboratori italiani di fisica, per la politica non c’è spazio. Il fatto che già allora Bruno se ne interessi un po’ è considerato una stramberia. Gli scienziati considerano il regime fascista, prima delle leggi razziali, inevitabile e naturale; lo stesso Fermi vi aderisce soltanto perché garantisce le migliori condizioni di lavoro per la ricerca (promotore dell’istituto è il fisico Orso Mario Corbino, che, pur essendo stato ministro dell’economia nel governo Mussolini nel 1923-24, non si iscriverà mai al PNF, ma ne condividerà la politica economica).

Il clima politico e sociale di Parigi, che sembra essere il centro del mondo, lo colpiscono come una rivelazione. A Parigi si riuniscono i migliori intellettuali, scienziati, scrittori e antifascisti scappati dall’Italia. Gente di colore, ragazze, operai, studenti, professori si mescolano per i locali e per le vie di Parigi, a parlare di politica. Molti scienziati dell’epoca si proclamano di sinistra o addirittura comunisti.

A Bruno Pontecorvo, che non si è mai occupato di politica in Italia, la politica viene incontro come vigorosa passione, una risposta da offrire alle esigenze vere di quegli operai o quei disoccupati, la difesa elementare degli interessi della povera gente.

Così Bruno, che fino a ventitré anni non aveva mai letto un testo marxista, abbraccia l'ideologia comunista. Inoltre inizia a guardare con interesse prima e con entusiasmo poi a quello che accade in U.R.S.S., dove il proletariato sembra essere al potere, e dove sembra essersi realizzata l'uguaglianza sociale.

In quegli'anni conosce anche Marianne Nordblom, arrivata dalla Svezia a Parigi per studiare lingua e letteratura francese, che alcuni anni dopo diventerà sua moglie.

2.3 IL PERIODO AMERICANO

In Italia erano già state promulgate nell'autunno del 1938 le leggi razziali. Gli ebrei sono increduli, disorientati e smarriti. Quelli che sono in condizione di farlo si preparano a partire, tra questi ci sono i Pontecorvo, parte dei quali si trasferisce a Parigi, altri a Edimburgo o a Londra.

Quando nel 1940, i nazisti riescono a invadere Parigi, Bruno Pontecorvo decide di fuggire in America. Con la moglie e il figlio, attraversano la Spagna in treno, per arrivare a Lisbona, l'unico porto dal quale si possano raggiungere gli Stati Uniti.

Appena arrivano in America sono assistiti da un'organizzazione ebraica, ma Bruno trova subito lavoro per la Wells Survey Inc. a Tulsa, in Oklahoma, dove si trasferisce con tutta la famiglia.

Bruno è una di quelle persone che vengono stimolate da ogni cambiamento e si adattano rapidamente a luoghi, lavori e persone diverse, e ricorda felici quegli anni in America. Anche nel suo lavoro ai campi petroliferi ha qualche soddisfazione, lì mette a punto la prima applicazione importante del neutrone, il cosiddetto carotaggio neutronico dei pozzi di petrolio.

Intanto in Europa la guerra continua, la Francia è ormai occupata dai nazisti e gli inglesi subiscono pesanti sconfitte in Africa, mentre l'Urss si proclama ancora neutrale. Quando gli Stati Uniti entrano in guerra (8 dicembre 1941) tutti gli stranieri, emigrati e profughi si trovano ad essere classificati come "enemy alien", stranieri nemici, c'è un forte clima di sospetto nei loro confronti, soprattutto se sono comunisti o socialisti.

In questo contesto germoglia l'ipotesi visionaria di costruire, sulla base di una reazione a catena, una nuova arma di straordinaria potenza, che viene poi concretizzata in un progetto.

Così nasce il progetto Manhattan, al quale collaborano i migliori fisici e scienziati del tempo, tra i quali anche Fermi, che aveva già ricevuto il premio Nobel nel 1938..Le ricerche si svolgono presso Los Alamos, una vera e propria cittadina, costruita per ospitare le centinaia di famiglie di scienziati, tecnici, impiegati che devono lavorare alla bomba. Le misure di sicurezza, a Los Alamos, sono severissime, tutti gli scienziati sono interrogati, sono sorvegliati, e, se hanno rapporti con i comunisti, vengono estromessi dal progetto.

Bruno Pontecorvo infatti non viene chiamato a far parte del progetto per ragioni di sicurezza. Nel 1943 gli viene proposto di andare a lavorare in Canada, in un centro di ricerca teorica, dove si sarebbe occupato dello studio dei raggi cosmici ed in particolare di neutrini e del decadimento del muone. L'esperienza in Canada è particolarmente importante. Pontecorvo comincia qui le ricerche di fisica delle particelle elementari e lo studio dei neutrini, che poi continuerà per tutta la vita.

A Montreal inoltre può manifestare più liberamente i suoi sentimenti di uomo di sinistra e di antifascista, e la sua gioia per la caduta del regime di Mussolini: c'è un clima più tranquillo e meno esasperato.

Vive ancora in Canada quando nel 1945 scoppia la prima bomba atomica, lanciata su Hiroshima. Ma diversamente da quanto si può pensare, Bruno non la valuta come un crimine contro l'umanità, ma come l'espressione della potenza della fisica moderna. Gli scienziati non ne sono sorpresi, già da tempo sanno per cosa si stava lavorando a Los Alamos e sanno che il progetto sarebbe riuscito.

Pochi mesi prima dell'esplosione della bomba, un certo Guzenko, ufficiale addetto al reparto decrittazione dell'ambasciata russa in Canada, fugge portando con sé le prove che i sovietici hanno organizzato una rete di spionaggio attorno alle ricerche atomiche in Canada. Ciò rende ancora più aspri i rapporti tra americani e sovietici e più sospettosi i servizi segreti occidentali.

Dopo la fine della guerra, Pontecorvo ottiene la cittadinanza inglese, e si trasferisce al centro di ricerche nucleari di Harwell e in seguito ottiene l'incarico di professore a Liverpool.

Nel 1950 i Pontecorvo trascorrono le ferie in Italia, con fratelli e cugini. Prima di tornare a Liverpool, decidono di andare a trovare i genitori di Marianne e si imbarcano sul volo per Stoccolma. Soltanto alcune settimane dopo qualcuno comincia a preoccuparsi della sua assenza prolungata.

Da quel momento in poi nessuno ha più traccia dei Pontecorvo.

2.4 UNA VITA DEVIATA

“Proprio come un fiume
Io fui deviata. Mi deviò la mia era poderosa.
Barattarono la mia vita: essa allora
Percorse un'altra valle, altri paesaggi.
E ignoro le mie rive, o dove siano..”

Anna Achmatova

“La vita di Bruno Pontecorvo venne deviata, come quella di tanti altri intellettuali occidentali, prima dall'impegno antifascista e dalla solidarietà con i combattenti di Spagna e poi dalle vicende della guerra fredda”.

Miriam Mafai

“Tutti mi chiedono ancora perché sono partito. L’ho già detto ed è la verità. Trovavo scandaloso l’atteggiamento antisovietico che andava prevalendo in tutto l’Occidente. Era una cosa molto pesante e molto ingiusta [...] Se non ci fosse stata la resistenza sul fronte russo, se non ci fosse stata Stalingrado, l’Europa sarebbe stata tutta sotto Hitler. Era un’idea orribile. Oggi il termine antisovietico non significa più nulla. Ma allora, per me era poco meno che una malattia, terribile e vergognosa.”

Bruno Pontecorvo

Secondo il parere di molti, Bruno Pontecorvo, già prima di rifugiarsi, aveva contatti segreti con l’Unione Sovietica. Secondo quest’ipotesi, Pontecorvo ha fornito all’Urss, fin dal 1943, appena arrivato a Montreal, dati e informazioni necessari per la costruzione della prima bomba atomica sovietica. Ma se accettiamo questa tesi, per la quale mancano prove decisive d’archivio o testimonianze inoppugnabili, dobbiamo immaginare che Bruno Pontecorvo abbia avuto accesso a dati e ricerche riguardanti l’atomica. Ma come sappiamo Bruno non si occupò mai della bomba, né per gli americani, né per gli inglesi. Le sue idee comuniste erano chiare a tutti, e il “maccartismo” esasperato di quegli anni non avrebbe certo permesso a un comunista di essere a conoscenza dei segreti atomici occidentali.

Inoltre sembra molto improbabile che sia riuscito a sfuggire all’attenzione dei servizi segreti canadesi, inglesi e americani che procedettero a un attento controllo di tutto il personale, e in particolare di quello straniero, che lavorava in ambito scientifico anglo-canadese. Tutto ciò farebbe concludere che Pontecorvo non sia mai stato un agente sovietico.

“Giocò anche il fatto che volevo mettermi a disposizione dell’Urss. Solo in quel paese, pensavo, la mia passione scientifica e i miei sentimenti profondi non sarebbero entrati in contrasto. Sapevo che i miei studi sulle particelle elementari erano importanti, desideravo che venissero alla luce lì. Questo era un pensiero nuovo. Non mi giudicare presuntuoso, ma pensavo di poter dare anch’io un contributo a quel paese che tanto amavo, perché potesse avere nuovi successi. Non c’entra niente l’atomica. L’Urss aveva già l’atomica, da oltre un anno. Io volevo lavorare per il progresso e la pace, aiutare. Per questo sono partito...”

Bruno Pontecorvo

Così Bruno chiede, attraverso un dirigente comunista al quale è molto legato, di poter andare a lavorare in Urss. La sua richiesta è accolta, naturalmente. Gli vengono prospettate ottime condizioni: non avrà nessuna preoccupazione economica, disporrà a suo piacimento di un importante laboratorio, potrà applicarsi alle ricerche che preferisce. Le condizioni del popolo sovietico, di quegli anni, sono molte modeste,

non esiste il consumismo che sta dilagando in Occidente. Ma questo, per Bruno e Marianne, non è un problema.

2.5 IL LUNGO FREDDO

Quando Bruno Maksimovič - questo diventerà il suo nuovo nome- arriva in Urss si sente come “l’ebreo che raggiunge la Terra Promessa..”. È nel paese che ha sempre amato e ora può mettere la sua intelligenza a servizio del comunismo.

I Pontecorvo arrivano a Mosca, dove abitano per un breve periodo, per poi trasferirsi a Dubna, la città della scienza sovietica. Appena arrivati si rendono conto del tenore di vita molto più basso del popolo russo, rispetto a quello occidentale; gli scienziati però all’epoca godono di grandi vantaggi, e la casa che viene loro consegnata è una bella villetta vicino al bosco.

La famiglia viene sorvegliata giorno e notte, come ricorda il figlio Tito, da un membro del KGB, che per i primi due anni vive con loro. Bruno lavora nella Città della scienza, dove può disporre di molte moderne apparecchiature, tra le quali un acceleratore di particelle elementari, che è il più grande del mondo.

In questo periodo tutti gli scienziati sono sottoposti a un rigidissimo controllo da parte delle autorità russe. Gli scienziati sovietici si trovano nel più completo isolamento, non possono neanche parlare tra di loro in stanza se non tramite il capo progetto. Tutto questo pesa un po’ a Bruno, che è sempre stato un tipo allegro e con i colleghi scienziati aveva fatto sempre amicizia e trascorso anche il tempo libero. Inoltre per i primi anni nessuno deve sapere nulla della sua esistenza, per questo non può concedere interviste, non deve farsi vedere in pubblico e deve mantenere la riservatezza.

Molti pensano che Bruno sia in URSS, ma è solo un sospetto, la certezza infatti si avrà solamente dopo 5 anni quando è proprio il fisico italiano a renderlo noto. Probabilmente i cinque anni di silenzio servono per non far “esporre” il caso, perché tutti si sarebbero trovati esposti alle speculazioni degli altri (l’Urss poteva essere accusata di spionaggio, l’Inghilterra di inaffidabilità...).

Gli anni russi per Bruno sono abbastanza felici, dopo la sua dichiarazione pubblica: può recuperare una vita normale, può ricominciare a vivere all’aria aperta, può praticare sport e ricomincia a uscire con altri scienziati. Questi anni sono però afflitti dalla depressione della moglie, che verrà ricoverata, e da un senso di nostalgia per l’Italia. Bruno infatti potrà tornare nella sua Terra solo nel 1978, dopo quasi trent’anni. Pochi mesi dopo il suo ritorno, una mattina, sente un fastidio al braccio sinistro, un insistente formicolio; è il morbo di Parkinson che lo accompagnerà fino alla morte, avvenuta nel 1993 in Unione Sovietica.

2.6 EPILOGO

La problematicità della scelta di Bruno Pontecorvo accompagna tutto il suo percorso dalla scomparsa nel 1950, come esposto a proposito dell'accusa di spionaggio, alla morte.

Evidentemente la motivazione ideologica è alla base del suo percorso umano:

“Chi è comunista, chi sceglie di essere comunista, chi decide della sua appartenenza in un momento così drammatico della storia del mondo, negli anni cioè della guerra di Spagna e del patto russo-tedesco ha deciso per sempre. La fedeltà all'Urss costituisce il centro della sua coscienza, il nucleo irrinunciabile della sua identità. Per ogni comunista, ogni decisione ogni atto della propria vita viene subordinato alla necessità di sostenere l'Urss, il paese del socialismo realizzato, il paese che incarna i loro ideali. Per sostenere e difendere l'Urss, nessun sacrificio è eccessivo. Nessuna fedeltà, al proprio lavoro, alla propria famiglia, al proprio paese, a se stessi, può essere anteposta alla fedeltà all'Urss. Questa è la sua morale, non altra.”

Miriam Mafai

Così Bruno Pontecorvo non si contrappone mai alle scelte del partito, le giustifica sempre, anche quando sembrano ingiustificabili. Si convince che il Partito ha della ragioni precise per quello che succede, e cosa vuole saperne lui, uno scienziato che “mangiucchia” di politica. Il primo colpo duro è il 1939, quando si stipula il patto scellerato Molotov -von Ribbentrop. Per tutti i comunisti, che vedono la Russia come la protettrice dell'Europa dal nazional-socialismo, è un colpo durissimo. Ma già allora Bruno giustifica il tutto come un gesto di grande lungimiranza politica, in quanto, anche nei momenti di incertezza, di fronte a scelte che possono apparire incomprensibili, bisogna affidarsi al partito.

“Credettero a tutto, ciecamente, uomini come Hemingway e Paul Eluard, come Joliot-Curie e John Steinbeck. Credettero che lì, in URSS, si stava costruendo un mondo nuovo e un uomo nuovo, diversi da tutto ciò che prima si era visto sulla Terra. Credettero all'utopia secondo la quale l'uomo liberato dalle catene dello sfruttamento, sarebbe emerso innocente e pulito come prima della cacciata dal Paradiso terrestre. Credettero a tutto intellettuali tra i più raffinati e disincantati del mondo, che di fronte a realtà documentate sugli orrori della collettività... Ma non riconobbero quelli staliniani, sui quali pure esisteva una copiosa documentazione.”

Miriam Mafai

Se questa ubbidienza incondizionata è propria dei comunisti già prima della guerra, dopo la guerra rischia per alcuni di divenire una vera religione.

“L’Urss aveva pagato per la vittoria contro il nazismo un prezzo inverosimile: oltre venti milioni di morti. E questi morti furono il sangue mistico di una credenza politica che si trasforma in religione.”

Miriam Mafai

Bruno Pontecorvo non manifesta mai apertamente un dissenso verso il Partito Comunista Dell’Unione Sovietica (PCUS) . Ma quando vengono liberate le migliaia di vittime staliniane, incarcerate e mandate nei gulag senza processo, quando Krusciov al XX congresso del partito denuncia i crimini staliniani (1956), quando Mosca impedisce la democratizzazione in Ungheria e Cecoslovacchia, quando l’autoritarismo sembra riaffermarsi, al posto che attenuarsi, e quando i crimini sovietici sono evidenti a tutti, Bruno comincia a fare un resoconto della propria vita. Comincia a pensare, a farsi delle domande e in cuor suo a dissentire, anche se non prende mai posizione contro il partito.

“Come definiresti oggi la tua posizione politica?”

“Sono confuso, come tutti coloro che sono stati comunisti. Ma non mi vergogno delle cose che ho detto e che ho fatto. Certo, il socialismo è fallito, ma la domanda di giustizia che c’è nel mondo, quella rimane. La risposta che abbiamo dato noi era sbagliata, ma questo non significa che non esista una risposta giusta. Qualcuno la cercherà, qualcuno dovrà trovarla.”

“Quando hai lasciato l’Occidente, immaginavi che saresti rimasto lì quasi trent’anni prima di poter tornare in Italia?”

“Credo di non aver mai pensato ad un tempo preciso.”

“Nel corso della tua vita in URSS, ti sei mai pentito di aver preso quell’aereo?”

“Non mi sono mai posto il problema in modo così brutale. Certo, qualche volta ci ho pensato, quando vedevo delle cose che non mi piacevano. Ma pensavo sempre che potessero cambiare. E, comunque, quando ero partito non avevo il biglietto di ritorno. E lo sapevo.”

“E oggi, sei pentito di avere fatto quella scelta, quarant’anni fa?”

“ Ci ho pensato molto, a questa domanda. Puoi immaginare quanto ci ho pensato. Ma non riesco a dare una risposta.”

“Se io dico: il tuo paese, a quale pensi, all’URSS o all’Italia?”

“All’Italia.”

Bruno Pontecorvo e Miriam Mafai

Questo è il percorso di Bruno Pontecorvo, raccontato da Miriam Mafai e pubblicato nel maggio del 1992. La ricostruzione della giornalista si basa su molteplici testimonianze, ma soprattutto sulle interviste allo stesso protagonista. Ed è con le sue parole che si può concludere questa biografia, interessante sia per l’importanza dello scienziato che per la scelta professionale e di vita nel momento cruciale della guerra fredda.

“ Ti ricordi quando abbiamo cominciato questa intervista? Ti chiedevo allora se tu ritenevi più importante , nella vita, avere preso le decisioni giuste o essere stati una persona per bene. Io resto della mia opinione: credo di aver commesso molti errori, ma di essere stato una persona per bene. Sono in pace con la mia coscienza, meno con la mia ragione. Le mie scelte, i miei errori, comunque, non hanno avuto conseguenze per gli altri. Non sono stato un politico.. Io ho fatto il fisico, soltanto il fisico e nella mia vita qualcosa di cui essere contento c’è.”

Bruno Pontecorvo

3. LA GUERRA FREDDA. Riflessione sulle cause

Tra il 1945 e il 1947, reggeva ancora, a livello mondiale, una sorta di “alleanza”, ratificata nelle conferenze di Teheran, Yalta e Potsdam, tra le potenze che avevano sconfitto il nazismo; vi erano ancora, tra Stati Uniti e Unione Sovietica, più elementi di intesa che di dissenso.

Poi, all’incirca tra il 1947 e il 1950, i rapporti internazionali tra Stati Uniti e Unione Sovietica andarono via via guastandosi; era l’inizio di quel lungo periodo, la cui conclusione è ancora dibattuta tra gli storici, denominato, secondo l’espressione del giornalista americano, W.Lippmann, “guerra fredda”, cioè non guerra guerreggiata, ma altissima tensione tra i due blocchi: USA e URSS.

In questo contesto, uno degli aspetti più interessanti è tentare di capire le cause che interagirono e che poi determinarono la contrapposizione che condizionò quasi tutta la seconda metà del secolo. Il pregiudizio ideologico che separava USA e URSS era evidente fin dalla fine della prima guerra mondiale.

Winston Churchill, che aveva guidato l’Inghilterra alla vittoria nel secondo conflitto mondiale, il 5 Marzo 1946, quando non era più primo ministro inglese, tenne un discorso in occasione di un riconoscimento accademico a Fulton, nel Missouri. In questo discorso si può già riscontrare il clima di forte tensione tra le due superpotenze, l’Unione Sovietica e gli Stati Uniti. Churchill infatti utilizzò l’espressione inglese “iron curtain”, che in italiano è tradotta “cortina di ferro”, per sottolineare un velo impenetrabile che divideva e nascondeva una parte d’Europa dall’altra, e si estendeva dal Baltico (Stettino è una città polacca) al Mediterraneo.

“Un’ombra è calata sulla scena di recente così vivamente illuminata dalla vittoria degli Alleati. Nessuno sa che cosa intendano fare nell’immediato futuro la Russia e la sua organizzazione comunista internazionale, né quali siano i limiti, ammesso che esistano, delle loro tendenze espansionistiche e del loro proselitismo. [...] Da Stettino, nel Baltico, a Trieste, nell’Adriatico, un sipario di ferro è calato sul continente. [...] I partiti comunisti, ch’erano assai piccoli in tutti quegli Stati orientali d’Europa, sono stati innalzati ad un predominio e ad un potere di gran lunga sproporzionati al numero dei loro aderenti e stanno ora tentando dovunque di conquistare il dominio totalitario. [...] non è questa la libera Europa per edificare la quale noi combattemmo. Né è un’Europa che contenga gli elementi essenziali di una stabile pace.”

La conclusione del discorso sembra già sancire la fine dell’alleanza militare ed ideale che aveva animato il fronte antinazista nel corso della seconda guerra mondiale. Secondo Churchill lo stesso valore fondamentale di libertà era in pericolo, e l’Europa rischiava di ripiombare nella tirannide e nella guerra.

Per decenni lo studio della guerra fredda è andato alla caccia delle responsabilità, o meglio della “colpa” di questo complesso di eventi, cruciale per il mondo contemporaneo. Si trattava di un atteggiamento che risentiva chiaramente della contrapposizione ideologica frutto della guerra fredda stessa: da un lato i sostenitori del sistema americano, dall’altro quelli del sistema sovietico.

Chi attribuisce la totale responsabilità di questo conflitto all’Unione Sovietica, vede nella politica americana una risposta ad iniziative del governo sovietico, senza riferimenti alla dinamica interna e agli obiettivi propri della politica estera americana. Lo storico Arthur Schlesinger definisce la guerra fredda come “la risposta coerente e coraggiosa di uomini liberi all’aggressione comunista”.

Già nel 1947 le due superpotenze diffidavano l’una dell’altra ed era evidente che non potevano continuare a collaborare. La preoccupazione per la rapidità con cui il comunismo si diffondeva e per l’aggressività con cui Stalin lo imponeva era ormai viva in tutti gli Stati Uniti e Truman ne era l’espressione.

Nel celebre discorso tenuto nel 1947, radiotrasmesso all’intera nazione, Truman denunciava l’attività comunista in diversi paesi d’Europa e dichiarava l’intenzione americana di sostenere, anche con aiuti economici, i popoli liberi.

“[...] una minoranza militante, sfruttando il bisogno umano e la miseria, è stata in grado di creare quel caos politico che, fino ad oggi, ha reso impossibile la ripresa economica. [...]”

La minoranza militante, come chiarirà in seguito, era il movimento comunista greco, che approfittò delle condizioni di miseria del popolo per imporre la propria linea. Secondo Truman, dunque, i partiti comunisti europei non si rafforzavano solo grazie al sostegno dell’Unione Sovietica, ma anche a causa della grave situazione economica.

Il compito degli Stati Uniti avrebbe dovuto essere allora quello di vigilare sulla libertà delle nazioni, aggredita dall’esterno o minata dall’interno a opera di minoranze che agiscono con la violenza. Gli Americani avrebbero dovuto appoggiare i partiti anticomunisti e aiutare l’Europa nella difficile ricostruzione della loro economia.

“[...] Ritengo che debba essere politica degli Stati Uniti sostenere i popoli liberi che stanno resistendo ai tentativi di sottomissione portati avanti da minoranze armate o da pressioni esterne. Credo che il nostro aiuto dovrebbe passare soprattutto attraverso l’aiuto economico e finanziario che è essenziale alla stabilità economica ed all’ordinato funzionamento del processo politico.”

Chi attribuisce la responsabilità del conflitto agli USA, come Pierre Grosser, insegnante di storia all'Institut d'études politiques di Parigi, pensa che la "guerra fredda" non sia cominciata per lo scontro ideologico delle due superpotenze. Infatti i dirigenti americani del 1945 sono fondamentalmente attaccati ai valori di autodeterminazione dei popoli, di democrazia e di libertà individuale, tuttavia, se questi uomini si posero contro Mosca, non fu per mera convinzione politica. La "guerra fredda", secondo questi storici, cominciò veramente quando sullo scontro ideologico si inserì la rivalità geopolitica. I dirigenti americani erano convinti che la sicurezza della loro nazione dipendesse da un rapporto di forze favorevole in Europa, da un'economia mondiale aperta e prospera, e dalla diffusione del modello di capitalismo americano. Per questi storici quindi, la guerra inizia perché l'America vedeva nel comunismo sovietico una forza che poteva contrastare i suoi progetti.

C'è anche chi sostiene, come Luigi Bonanate (L'evoluzione dei rapporti di potere mondiale, in Atlante del Novecento), che non si può assolutamente comparare la situazione dell'Unione Sovietica con quella statunitense durante il secondo dopoguerra.

L'URSS nella seconda guerra mondiale ebbe 20 milioni di morti, vide distrutto il 40% del suo potenziale produttivo e il prodotto lordo pro capite era di 699 dollari, a differenza dei 2536 dollari degli Stati Uniti. L. Bonanate ritiene che l'Unione Sovietica non avrebbe mai potuto sconfiggere, militarmente, il "mondo libero", anche perché era un paese dittatoriale, nel quale la lotta intestina per il potere consumava maggiormente le forze che non la programmazione della politica estera. Ecco allora che, secondo alcuni storici, la politica estera sovietica nascondeva un'impostazione difensiva, mentre gli Stati Uniti, il paese più ricco di tutti, non solo di denaro ma di intraprendenza, più potente e nello stesso tempo più armato, nascondevano una linea strategica per la progettazione di un ordine mondiale.

I fatti ci mostrano come da entrambe le parti ci siano state delle provocazioni, anche se alcuni possono valutare più gravi quelle dell'URSS e altri quelle degli USA.

Per sostenere i paesi europei, che dopo la guerra erano in crisi, Truman fece organizzare un grande programma di aiuti alimentari e finanziari. Nel 1947, il generale Marshall, segretario di Stato, propose alle nazioni europee un aiuto economico di grande respiro. All'inizio la proposta era indirizzata anche ai paesi dell'Est, compresa l'unione Sovietica. Ma questa rifiutò, seguita dagli altri Stati dell'Est, in quanto vide in tale iniziativa null'altro che una manifestazione dell'imperialismo americano. Noto come piano Marshall, il programma di aiuti americani, per una cifra globale di quasi 14 miliardi di dollari, ebbe come destinatari solo i paesi dell'Europa occidentale. Entrò in funzione nel 1948 e durò fino al 1951. Truman mise in atto questi aiuti anche perché pensava che i regimi totalitari si creassero molto più facilmente in paesi dove c'era una forte crisi economica e finanziaria.

Ma nello stesso anno, Andrej Zdanov, considerato l'ideologo di Stalin, rispose alla dottrina Truman e al piano Marshall con un discorso in cui denunciava l'espansionismo degli Stati Uniti, attuato anche grazie agli aiuti che elargiva, e concludeva affermando la necessità che i paesi comunisti costituissero tra loro un blocco in grado di contrapporsi ai paesi capitalisti. Così nel 1949 nacque il COMECON (Consiglio di mutua assistenza economica) al quale aderirono molti paesi dell'Est. L'obiettivo era quello di costituire una grande alleanza economica dei paesi comunisti, come risposta al piano Marshall.

Il piano Marshall fu decisivo nel favorire la straordinaria ripresa dell'economia europea e rafforzò i legami del mondo occidentale con gli Stati Uniti. Infatti nel 1949 Stati Uniti e molti paesi europei firmarono il Patto Atlantico. Con tale patto tutti questi Stati si organizzavano in un'alleanza militare: la NATO a difesa del "mondo libero".

Contemporaneamente continuava l'avanzata del comunismo nell'Europa orientale. Stalin impose il comunismo anche nei paesi in cui la maggioranza della popolazione lo rifiutava (Polonia, Ungheria, Cecoslovacchia). Prendendo a pretesto l'entrata della Repubblica Federale Tedesca nella NATO, nel 1955 anche i paesi comunisti si unirono in un'alleanza militare: il Patto di Varsavia.

Il mondo era ormai diviso in due blocchi contrapposti, quello occidentale, guidato dagli Stati Uniti, e quello comunista, guidato dall'Unione Sovietica. La divisione delle zone di influenza si impose come la soluzione più semplice per evitare uno scontro totale tra i due blocchi. In effetti la guerra vera e propria non scoppiò mai, ma ci fu una "guerra di civiltà". Una guerra combattuta con le armi della diplomazia, dell'economia e dell'ideologia. La guerra restò "fredda" anche per evitare un finale catastrofico, poiché ormai entrambe le potenze possedevano la bomba atomica: si creò così un equilibrio del terrore.

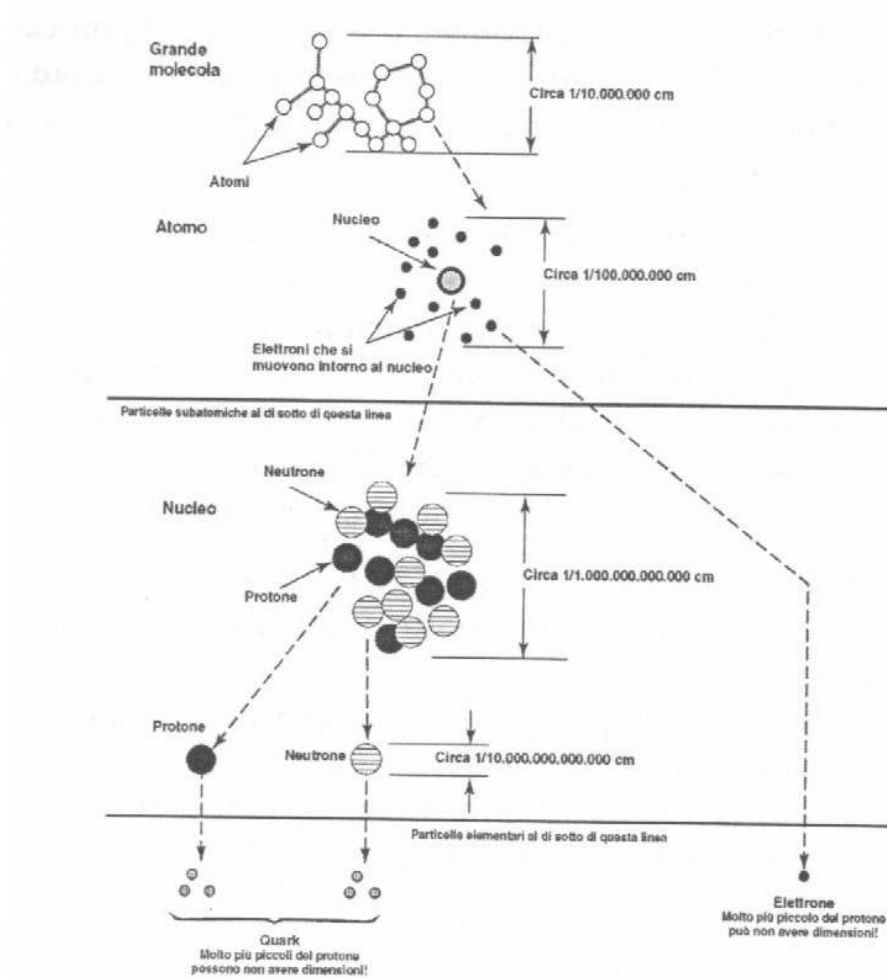
USA e URSS sfiorarono più volte l'esplosione di una guerra vera e propria, che non avvenne mai. Tuttavia il conflitto latente ha determinato una conseguenza dai risvolti drammatici per il pianeta: ha riempito il mondo di armi. Infatti le due superpotenze furono in continua competizione per armarsi, in previsione della guerra: l'industria bellica fu, pertanto, funzionale al possibile conflitto e, nello stesso tempo, fu espressione fondamentale della ripresa economica e industriale dei rispettivi paesi. Era ineluttabile che questa competizione sfociasse nella ricerca di nuovi "mercati" e USA e URSS cercarono di acquistare "amici" e influenzare popoli, distribuendo cannoni, navi e missili in tutto il pianeta. La guerra di Corea (1950- 1953) e la guerra del Vietnam (1964- 1975) rappresentano, appunto, i due casi più clamorosi dello scontro latente divenuto un effettivo e tragico campo di battaglia.

4. BRUNO PONTECORVO E LO STUDIO SUI NEUTRINI

4.1 BREVE INTRODUZIONE SULLE PARTICELLE ELEMENTARI

È sempre esistito un vecchio concetto, mutuato dalla filosofia greca, secondo cui la materia è composta da particelle o costituenti fondamentali. Si è sempre supposto che queste fossero molto piccole, invisibili e indistruttibili. Ma prima della scoperta dell'elettrone nell'ultima decade del XIX secolo non c'era alcuna prova sperimentale dell'esistenza di nemmeno uno dei costituenti fondamentali della materia.

Oggi il [Modello Standard](#) descrive le particelle elementari e le loro interazioni.



La figura mostra la gerarchia della materia con in cima i più complessi tipi di materia: le **molecole**. Le molecole sono formate da **atomi**. Ma gli atomi non sono entità semplici, sono di per sé complessi, sono formati da **elettroni** che si muovono intorno ad un **nucleo**. L'elettrone, per quanto ne sappiamo, non è composto da nient'altro, non possiamo rompere l'elettrone o trovare qualcos'altro al suo interno. L'elettrone è l'esempio che è stato scoperto per primo e la più importante particella elementare.

Al di sotto del livello atomico c'è quello nucleare. Un nucleo però non è semplice e non è elementare. Infatti un nucleo è fatto di **protoni** e **neutroni** tenuti insieme molto strettamente. Fino agli anni Quaranta si riteneva che neutroni e protoni fossero particelle elementari, ma essi non sono elementari, sono particelle composite. Sono composte da particelle chiamate **quark**, ciascun protone e ciascun neutrone contiene tre quark. Per quanto ne sappiamo, i quark come gli elettroni non sono composti da nient'altro.

Ogni particella all'interno dell'atomo o più piccola dell'atomo stesso è chiamata subatomica. Col nome "**elementari**" indichiamo quelle particelle subatomiche che riteniamo essere le più semplici, quelle che pensiamo non siano fatte da nient'altro. Il neutrone e il protone, essendo composti da quark, sono chiamati particelle composite.

Secondo il Modello Standard la materia è formata da due tipi di particelle elementari: **i QUARK e i LEPTONI**.

L'elettrone è un membro della famiglia dei leptoni, questa famiglia contiene tre leptoni carichi e tre neutrini. I leptoni possono esistere in maniera isolata e le loro proprietà sono dedotte dall'osservazione diretta.

I leptoni conosciuti sono:

- tre leptoni carichi: elettrone, muone e tau;
- tre leptoni neutri: **neutrino elettronico**, **neutrino muonico** e **neutrino tau**;

I quark sono membri di una famiglia di sei quark, non possono esistere in condizioni di isolamento, infatti sono sempre parte di una particella composta come il protone e il neutrone.

I quark conosciuti sono: Up, Down, Charm, Strange, Top e Bottom;

A ognuna di queste particelle elementari ne corrisponde sempre un'altra della stessa massa, ma opposta per quanto riguarda alcune proprietà, quale per esempio il segno della carica elettrica, queste sono chiamate **antiparticelle**.

Le particelle elementari non sono pezzi isolati di materia che non hanno nulla a che fare l'uno con l'altro, ma tirano, spingono e interagiscono tra loro, a volte modificandosi in altri tipi di particelle. Queste interazioni avvengono per il tramite di quattro forze fondamentali: **ELETTROMAGNETICA, DEBOLE, GRAVITAZIONALE e FORTE.**

La forza elettromagnetica, per quanto riguarda l'atomo, tiene gli elettroni legati al nucleo. La forza nucleare debole si esercita tra i quark ed è responsabile della radioattività spontanea. La forza gravitazionale si esercita tra tutti i corpi dotati di massa. La forza nucleare forte si esercita tra i quark e costringe i neutroni a rimanere confinati all'interno del nucleo insieme ai protoni.

4.2. IL NEUTRINO

I neutrini sono particelle **prive di carica elettrica** e con una **massa estremamente piccola** (che non si è ancora riusciti a misurare), sono le particelle più elusive finora scoperte, infatti interagendo raramente con la materia, possono attraversarne indisturbati enormi spessori.

In ogni secondo ogni oggetto sulla Terra è attraversato da molti miliardi di neutrini; tuttavia quasi nessuno di questi neutrini viene catturato: in media soltanto un neutrino all'anno interagisce con il corpo di una persona.

I neutrini hanno pochissima propensione ad interagire con la materia sia perché sono molto piccoli, sia perché viaggiano a velocità elevatissime (addirittura alla velocità della luce se fossero senza massa) e pertanto nel loro cammino rimangono vicino ai nuclei atomici coi quali potrebbero eventualmente interagire per un tempo troppo breve per consentire una reazione. Per avere un qualche effetto, i neutrini nel loro movimento dovrebbero centrare in pieno il nucleo di un atomo, ma si tratta di un evento talmente raro che si è calcolato che queste strane particelle sarebbero in grado di attraversare un muro dello spessore di alcuni anni luce senza trovare praticamente alcun ostacolo.

Si conoscono **tre “sapori” o “famiglie” di neutrini** (che differiscono per le reazioni da cui hanno origine e per le reazioni che essi stessi originano quando interagiscono con la materia):

NEUTRINO ELETTRONICO	NEUTRINO MUONICO	NEUTRINO TAU
---------------------------------	-----------------------------	-------------------------

ν_e	ν_μ	ν_τ
---------	-----------	------------

Poiché ogni particella possiede una corrispondente antiparticella: così per ogni neutrino esiste il corrispondente antineutrino.

Secondo il Modello Standard il neutrino era privo di massa, ma esperimenti recenti suggeriscono che questo abbia una massa, seppur molto piccola.

Nel 1969 il fisico italiano **Bruno Pontecorvo** descrisse le caratteristiche dell'oscillazione dei neutrini solari nel vuoto. Pontecorvo infatti pensava che il neutrino potesse oscillare da un tipo all'altro e che i diversi tipi di neutrini altro non fossero che stati diversi della stessa particella. Il fisico fece anche notare che la suddivisione in tre famiglie era strettamente valida solo se i tre neutrini avevano massa nulla. Al contrario se il neutrino aveva massa (com'è stato confermato), sarebbe stato possibile vedere i neutrini oscillare, cioè trasformarsi da una specie all'altra in funzione del tempo.

In questi ultimi anni è stata confermata quest'ipotesi, il neutrino esibisce un comportamento oscillatorio caratteristico.

4.3 SCOPERTA DEI NEUTRINI

Alla fine dell'800 gli scienziati francesi Marie, Pierre Curie a Henri Becquerel scoprirono la radioattività, una proprietà di alcuni nuclei, che a causa di un eccesso di protoni e neutroni si trasformavano in altri nuclei liberando particelle. Esistono tre tipi di decadimento radioattivo α , β e γ .

Ci sono alcune leggi fisiche che gli scienziati considerano inviolabili, fra queste c'è il principio di conservazione dell'energia, ovvero l'energia all'inizio di un processo uguaglia quella finale. (Per essere precisi non dovremmo dire energia, ma massa-energia, in quanto le due entità sono fra loro intercambiabili nel senso che la massa può tramutarsi in energia e viceversa come afferma l'equazione di Einstein: $E=m \cdot c^2$ dove E è l'energia e m la massa; c^2 è la velocità della luce al quadrato, un numero elevatissimo e fisso che spiega il motivo per il quale anche poca materia può trasformarsi in una grande quantità di energia.)

Ma durante il decadimento radioattivo beta, in cui il nucleo atomico emette un elettrone e si trasforma nel nucleo di una nuova specie atomica, una parte dell'energia in gioco scompariva.

La radioattività poneva un problema serio ai fisici perché sembrava violare il principio di conservazione dell'energia.

Wolfgang Ernst Pauli nel 1930 nella famosa lettera agli “amici radioattivi” postulò l'esistenza di una particella con massa molto piccola e priva di carica, che battezzò neutroni, poiché i veri neutroni, che insieme ai protoni costituiscono il nucleo dell'atomo, dovevano ancora essere scoperti. Pauli pensava che fossero proprio questi neutroni a portar via energia al decadimento, ma pensando che l'esistenza di questa nuova particella non potesse in alcun modo essere provata, si limitò a suggerirla, ma non pubblicò mai nulla. **Fu Enrico Fermi a battezzarli neutrini** e a postulare l'esistenza di una forza capace di trasformare, all'interno del nucleo atomico, protoni in neutroni e viceversa. Per Fermi neutrino ed antineutrino, prodotti da tale trasformazione, avrebbero avuto la funzione di garantire il rispetto dei principi di conservazione fondamentali della fisica.

La teoria di Fermi convinse tutti i fisici dell'epoca che il neutrino dovesse esistere, ma qualcuno doveva dimostrarlo sperimentalmente. Cominciò così la caccia al neutrino da parte di tutti i fisici del mondo.



Nel 1956 **Reines e Cowan** inviarono un telegramma a Pauli per informarlo del successo del loro esperimento, questi due scienziati americani **trovarono antineutrini dai frammenti della fissione nucleare** e per questo ricevettero il premio Nobel per la fisica. Con questi esperimenti si trovarono antineutrini, ma il metodo per trovare i **neutrini** veri e propri era molto simile.

I neutrini si formano dalle reazioni di fusione nucleare. In un tipo particolare di questo tipo di reazioni, quattro nuclei di idrogeno vengono convertiti in un nucleo di elio formato da due protoni e due neutroni. Nel processo si formano anche due positroni e due neutrini. La reazione avviene nel Sole, che emette una quantità incredibile di neutrini, parte dei quali raggiunge la Terra.

Per rivelarli, fu necessario predisporre un bersaglio ricco di neutroni. I neutrini infatti se colpiscono i neutroni, producono protoni e elettroni. Il metodo per rivelare la presenza dei neutrini fu suggerito dal un fisico italiano **Bruno Pontecorvo**.

Pontecorvo propose di utilizzare un isotopo del cloro, il cloro-37, che possiede il nucleo particolarmente ricco di neutroni. Se nel nucleo dell'atomo di cloro-37 riuscisse a penetrare un neutrino in grado di produrre l'emissione di un elettrone, il neutrone si trasformerebbe in protone. Il cloro-37, con un neutrone in meno e un protone in



più, diventerebbe Argo-37 che è un elemento radioattivo e quindi potrebbe essere identificato con relativa facilità.

Molti scienziati provarono a catturare i neutrini solari. Si calcolò il numero di neutrini che il Sole produce a differenti energie e il numero di atomi di argon radioattivo che questi neutrini solari produrrebbero in un grande serbatoio contenente un fluido detergente a base di cloro. I risultati di questi esperimenti creavano un “mistero”. Si rivelò solo circa un terzo degli atomi radioattivi di argon previsti. E da qui iniziò il **“Mistero dei Neutrini Mancanti”**.

Le spiegazioni possibili erano tre: il calcolo teorico poteva essere errato, l’esperimento era sbagliato o i fisici non avevano capito il comportamento dei neutrini quando percorrevano distanze astronomiche.

Nel 1969 **Bruno Pontecorvo e Vladimir Gribov** dell’Unione Sovietica proposero la terza soluzione e sostennero che i neutrini si comportavano in modo diverso da quello ipotizzato dai fisici. Ma questa tesi non fu presa in seria considerazione e si preferì attribuire l’errore ai calcoli teorici o all’esperimento.

Negli anni seguenti furono fatti altri esperimenti (che erano capaci di rivelare sia neutrini a bassa energia, sia quelli a energie più elevate), confermando che il numero dei neutrini osservati era inferiore a quello previsto.

L’evidenza sperimentale raccolta e l’attendibilità del modello solare indicarono che qualcosa doveva succedere ai neutrini durante il loro percorso dall’interno del Sole fino ai rivelatori sulla Terra.

Nel 2001 una collaborazione di scienziati canadesi, americani e britannici (SNO) risolse il mistero dei neutrini mancanti. Inizialmente il gruppo usò un rivelatore con acqua pesante, in una modalità di funzionamento tale che era sensibile solo ai neutrini elettronici e gli scienziati osservarono all’incirca un terzo dei neutrini previsti. Successivamente si cambiò la modalità di funzionamento del rivelatore e il gruppo determinò il numero totale dei neutrini solari di tutti i tipi (elettronici, muonici e tau) e **si scoprì che il numero di neutrini elettronici è circa un terzo del numero totale di neutrini.**

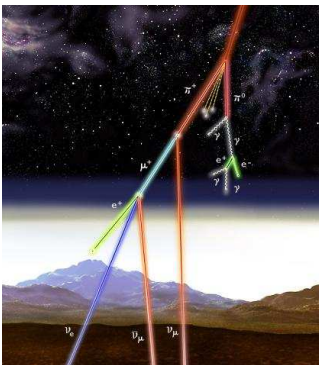
I neutrini con bassa energia infatti si trasformano da neutrini elettronici in neutrini di altri tipi durante il loro tragitto nel vuoto tra il Sole e la Terra. Il processo può andare avanti e indietro tra tipi diversi. Il numero di oscillazioni dipende dall’energia del neutrino. Per i neutrini ad energia più alta, il processo di oscillazione è aumentato dell’interazione con gli elettroni all’interno del Sole.

Si dimostrò allora, ciò che già nel 1969 Pontecorvo e Gribov ipotizzarono, che i neutrini solari sono creati come elettronici all’interno del Sole, ma lungo il loro tragitto verso la Terra cambiano di “famiglia”.

4.4 FONTI DEI NEUTRINI

Una gran parte dei neutrini ha origine naturale ed è prodotta in vari modi:

- All'interno della Terra, dove i neutrini sono emessi da minerali contenenti elementi radioattivi quali l'Uranio e il Torio (i nuclei di questi elementi decadono emettendo energia sotto forma di calore e antineutrini elettronici);



- Nell'atmosfera terrestre i neutrini vengono prodotti dai raggi cosmici, particelle cariche di alta energia che costantemente bombardano la terra e provengono dallo spazio.

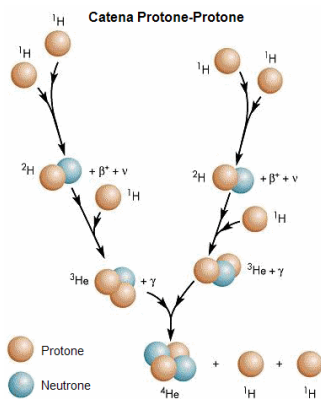
I raggi cosmici sono particelle e nuclei atomici ad alta energia, che provengono dal Cosmo e hanno origine sia galattica che extragalattica, colpiscono la terra in ogni direzione arrivando alla velocità della luce. Quando arrivano nell'atmosfera terrestre e collidono con i nuclei che la formano, le collisioni producono un grande numero di particelle. Per la maggior parte sono muoni, elettroni, fotoni e neutrini, e vengono chiamati raggi cosmici secondari.

- Nel Sole (e nelle altre stelle, ma i neutrini che ci giungono dalle altre stelle hanno un'intensità troppo debole a causa dell'enorme distanza che ci separa), dove una grandissima quantità di neutrini elettronici viene prodotta durante le reazioni di fusione termonucleare;

Nel nucleo del Sole la materia si trova allo stato di plasma (stato della materia in cui i nuclei atomici sono separati dagli elettroni) e qui si verificano le reazioni nucleari che trasformano l'idrogeno in elio.

Una reazione nucleare è un processo attraverso il quale si producono nuclei di elementi più pesanti a partire dalla fusione di nuclei di elementi più leggeri.

La reazione nucleare che avviene nel Sole è: $4\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^4\text{He} + 2\text{e}^+ + 2\nu_e +$ **raggi γ**



Nella prima fase si fondono due protoni (cioè due nuclei di idrogeno ^1H) con produzione di deuterio (idrogeno ^2H).

Questa reazione libera energia e comporta la trasformazione di un protone in un neutrone, mediante l'espulsione di un positrone (e^+) e di un neutrino (ν_e).

Nella seconda fase il deuterio si fonde con un altro protone, formando un nucleo di elio "leggero" (^3He). In questa fase viene liberata energia sotto forma di raggi gamma.

Nella terza fase i nuclei di elio leggeri si trasformano in nuclei di elio ^4He . Questa reazione produce 2 protoni, che possono essere utilizzati in un nuovo ciclo.

- **Durante l'esplosione delle supernovae**, stelle che dopo aver esaurito il loro combustibile nucleare collassano ed esplodono.

Le supernovae quando esplodono emettono una enorme quantità di energia sotto forma di luce, materia, ed anche di antineutrini. Questi neutrini contengono informazioni importantissime sul meccanismo con cui avviene l'esplosione.

Il 23 Febbraio 1987 neutrini provenienti dall'esplosione della supernova SN 1987° a 168 mila anni luce (nella Grande Nube di Magellano) furono rivelati sperimentalmente nei laboratori sotterranei in Giappone e negli Usa.

- **Pochi istanti dopo il Big Bang** è stato prodotto un enorme numero di neutrini e antineutrini di ogni tipo (neutrini fossili), che esistono tuttora diminuendo via la loro energia a causa dell'espansione dell'universo.

I neutrini possono avere anche un'**origine artificiale** attraverso gli **acceleratori di particelle** e i **reattori nucleari**.

- **Acceleratori di particelle;**



Gli acceleratori di particelle producono e accelerano particelle ad alta energia (come protoni, elettroni o nuclei atomici).

Successivamente queste particelle accelerate vengono scagliate contro uno strato compatto di materiale, e in questo modo si riescono a produrre

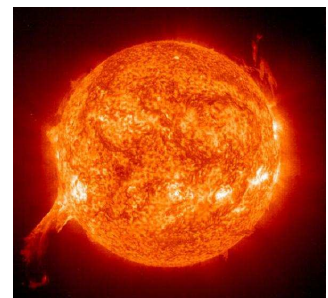
particelle che decadono lungo una breve distanza in altre particelle, tra le quali i neutrini.

- **Reattori nucleari;**

In ogni centrale di fissione nucleare, nel reattore, vengono prodotti anche antineutrini elettronici.

4.5 APPLICAZIONE DEI NEUTRINI IN ASTROFISICA

I neutrini prodotti all'interno del Sole giungono alla sua superficie e sino a noi, fornendoci **importanti informazioni di tipo astrofisico sui processi che si svolgono all'interno del Sole**, poiché possono attraversare enormi spessori di materia senza interagirvi. Invece le semplici radiazioni luminose e le onde elettromagnetiche ci portano informazioni riguardanti solo gli starti più superficiali delle stelle.



Inoltre anche i deboli e ancora mal distinguibili **segnali di fenomeni astrofisici lontani, come i collassi stellari**, ci giungono grazie all'assenza di un notevole assorbimento dei neutrini emessi. Come l'astronomia classica usa la luce in quanto veicolo di informazione, avremo forse un giorno una **"astronomia di neutrini"**, con i telescopi sostituiti da grandi rivelatori di neutrini cosmici.

Nei primi istanti dell'universo al pari della radiazione elettromagnetica che costituisce la nota **"radiazione cosmica di fondo"** è stato presumibilmente prodotto un **grandissimo numero di neutrini** che tuttora non sappiamo come poter osservare a causa della loro bassissima energia. Nel cosmo potrebbe essercene una quantità enorme.

I neutrini potrebbero anche essere utilizzati per ricavare la massa dell'universo. Per molto tempo si è creduto infatti che ogni oggetto presente nel nostro Universo fosse visibile e che quindi inviava in tutte le direzioni luce propria.

Però il moto rotatorio delle stelle nelle galassie, e in particolare la dipendenza della loro velocità dalla distanza dal centro della galassia a cui appartengono, presentava un'apparente anomalia. Questa velocità superava di molto i valori previsti applicando la legge di gravitazione alle sole masse osservabili direttamente. Quest'anomalia poté essere chiarita ipotizzando che si conoscesse circa un decimo della massa totale

delle galassie. Una larghissima parte dell'universo infatti è per noi "**materia oscura**", materia che non emette luce e non può essere osservata direttamente, ma solo dagli effetti che essa provoca sulla materia visibile.

Il neutrino è estremamente abbondante nel cosmo e quindi anche una sua massa estremamente piccola potrebbe dargli un ruolo come materia oscura. Oggi si pensa che i **neutrini potrebbero costituire la materia oscura calda**, costituita da particelle di massa infinitesimale, ma dotate di elevatissima energia cinetica.

I neutrini però non sembrano esserne l'unico costituente, i cosmologi ritengono che la materia oscura possa essere costituita anche da altre particelle, ma l'esistenza di queste deve ancora essere provata.

4.6 RIVELAMENTO DEI NEUTRINI

Lo studio delle radiazioni cosmiche, e dei neutrini in particolare, è oggi la nuova frontiera delle conoscenze in fisica delle particelle e in fisica astro particellare.

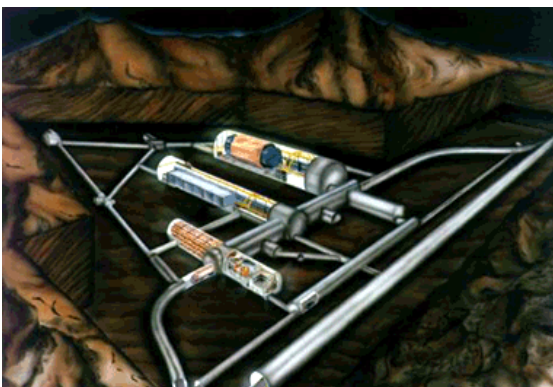
Ogni secondo, di giorno come di notte, senza rendercene conto, siamo attraversati su ogni centimetro quadrato da ben 65 miliardi di neutrini solari, ad una velocità vicina a quella della luce.

Poiché la probabilità di interazione dei neutrini è molto bassa, gli esperimenti in grado di catturare i neutrini necessitano di laboratori molto massicci: ciò nonostante, le interazioni dei neutrini con il rivelatore sono molto rare e sono necessari molti anni di misure per poter rilevare delle informazioni precise.

I laboratori per rilevare neutrini sono sotterranei, infatti la terra sovrastante offre uno schermo alle radiazioni naturali provenienti dal cosmo: i raggi cosmici, che potrebbero produrre un rumore di fondo per il rivelatore. Ma per i neutrini la terra è totalmente trasparente e questi riescono a raggiungere le sale sotterranee dei laboratori senza essere fermati e disturbati dalla presenza di flussi di altre particelle. Data la rarità delle interazioni, occorre costruire rivelatori con una massa molto grande, dell'ordine di molte tonnellate, per riuscire a catturarne qualcuno.

In Italia ci sono i laboratori più avanzati al mondo per estensione e per infrastrutture nello studio delle particelle cosmiche, come i neutrini: **i Laboratori Nazionali del Gran Sasso**.

4.7 LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO



I Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), uno dei quattro laboratori dell'INFN, sono situati tra le città di L'Aquila e Teramo. I Laboratori sono utilizzati come struttura a livello mondiale da scienziati provenienti da 22 paesi diversi; attualmente ne

sono presenti circa 750 impegnati in circa 15 esperimenti in diverse fasi di realizzazione.

I 1400 m. di roccia che sovrastano i Laboratori costituiscono una copertura tale da ridurre il flusso dei raggi cosmici di un fattore di un milione; inoltre, il flusso di neutroni è migliaia di volte inferiore rispetto alla superficie grazie alla minima percentuale di Uranio e Torio presente nella roccia di tipo dolomitico che costituisce la montagna.

Principali argomenti di ricerca dell'attuale programma sono: la fisica dei neutrini naturalmente prodotti nel Sole e in esplosioni di Supernovae, e lo studio delle oscillazioni del neutrino, attraverso un fascio di neutrini provenienti dal CERN (programma CNGS), la ricerca della massa del neutrino, la ricerca sulla materia oscura e lo studio di reazioni nucleari di interesse astrofisico.

GALLEX è stato il primo esperimento al mondo a rivelare i neutrini elettronici provenienti dalle reazioni di fusione termonucleare che producono l'energia al centro del Sole.

Si tratta di un rivelatore formato da 30 tonnellate di gallio, che è sensibile ai neutrini con un basso livello di energia. Un nucleo di Gallio riesce ad assorbire appena un neutrino al giorno, su mille miliardi che lo attraversano. Gallex sfrutta la proprietà di queste particelle di trasformare il cloruro di gallio, che è allo stato liquido in cloruro di germanio.

Gallex ha anche mostrato il singolare fenomeno, per cui i neutrini che provengono dal Sole sono circa la metà di quello che ci si aspetta. Questo è dovuto all'oscillazione dei neutrini solari nel vuoto, teoria postulata nel 1969 da Bruno Pontecorvo.

GNO Al posto di Gallex è entrato in funzione, dal 1998, GNO (Gallium Neutrino Observatory), un esperimento che monitorerà l'arrivo di neutrini per un intero ciclo solare, circa 11 anni, tenendo sotto controllo l'attività del Sole ed eliminando gradualmente le incertezze sperimentali.

BOREXINO è costituito da una parte centrale in grado di rivelare i neutrini e da due gusci pieni di liquidi schermati che serviranno a proteggere da fattori di disturbo. I rari urti tra i neutrini e gli atomi del liquido, che si trova nella parte centrale, genereranno piccoli lampi di luce che saranno captati da speciali sensori. Questo esperimento riesce a studiare i neutrini in un intervallo di energia più ampio.

ESPERIMENTO PER LO STUDIO DELL'OSCILLAZIONE DEI NEUTRINI



Il progetto CNGS (CERN Neutrinos to Gran Sasso) prevede la costruzione di una sorgente di neutrini al CERN di Ginevra, che verranno proiettati verso il

Laboratori del Gran Sasso, a 730 km di distanza, e studiati dagli esperimenti ICARUS e OPERA.

Lo scopo della ricerca è comprendere la singolare capacità dei neutrini di “trasformarsi” durante il viaggio: il fenomeno chiamato oscillazione.

Il fascio di neutrini proveniente dal CERN verrà prodotto da un fascio di protoni accelerati dall’SPS su un bersaglio di grafite. I secondari prodotti dall’interazione verranno prima focalizzati ed in seguito fatti passare attraverso un tunnel di decadimento lungo 289 km per produrre il fascio di neutrini.

SITOGRAFIA

- [HTTP://WWW.INFN.IT/BROCHURE/9.HTM](http://WWW.INFN.IT/BROCHURE/9.HTM)

Sito dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- <http://www.lastoriasiamonoi.rai.it/puntata.aspx?id=419>

Sito de “La Storia siamo noi”

- http://www.youtube.com/watch?v=hBqxNfCrL8&feature=player_embedded#at=1679

Video sui neutrini co-prodotto dal CERN e dall’INFN

- http://www.lngs.infn.it/lngs_infn/index.htm?mainRecord=

Sito dell’INFN

- http://www.cosediscienza.it/fisica/02_neutrino.htm

Sito “Cose di Scienza”

- <http://www.infn.it/notiziario/not11/Art.4.pdf>

Sito dell’INFN

- http://www.infn.it/comunicazione/brochures/depliantinfn_2005.pdf

Sito dell’INFN

- <http://scienzapertutti.Inf.infn.it/concorso/sullealideineutrini/Sito%20Internet/esperimentii.htm>

Sito “Esperimenti sui Neutrini”

- http://choruswww.cern.ch/Public/textes/italy/italy_frame.html

Sito del CERN

BIBLIOGRAFIA

- Miriam Mafai, Il lungo freddo, Arnoldo Mondadori Editore, 1992

- Carlo Rubbia , Si è acceso Icarus: dovrà svelare i segreti dell’universo, Corriere della sera, 29 Marzo 2011-06-21

- Leonardo Sciascia, La Scomparsa di Majorana, Classici Bompiani, 1989

- Carlo Cartiglia, Nella Storia, il Novecento, 3.1, Loescher Editore, 2002
- Mario Palazzo e Margherita Bergese, Clio Magazine, Il Novecento e l'inizio XXI secolo, 3.B., Editrice La Scuola, 2003
- Gianni Gentile e Luigi Ronga, Storia e Geostoria, Il Novecento e l'inizio del XXI secolo, 5.B., Editrice La Scuola, 2005
- Warren Siegel, Particelle, stringhe e altro, Di Renzo Editore, 2008
- Martin L.Perl, Tante domande, qualche risposta, Di Renzo Editore, 2006