

Le classi VA e VB del Liceo Scientifico B. Russell di Cles

Guerra e Pace: il romanzo dell'atomo



Le classi **VA** e **VB** del liceo B. Russell di Cles

Guerra e Pace: il romanzo dell'atomo

La traduzione dei saggi di W. K Heisenberg, i testi di approfondimento e le illustrazioni sono a cura degli alunni delle classi VA e VB del liceo Scientifico B. Russell di Cles.

VA: Letizia Canella, Agnese Casanova, Naike Corazzi, Barbara Delpero, Valentina Endrizzi, Manuela Fanti, Elena Flor, Beatrice Fox, Giulia Marinolli, Giorgia Martinolli, Margherita Rauzi, Nikola Ristovic, Alice Torresani, Rebecca Valentinelli, Lorenzo Wegher.

VB: Edoardo Tommaso Andrea Bresadola, Nicolò Canestrini, Claudio Alberto Cicolini, Anna Dallago, Ursula Deromedis, Chiara Fauri, Irene Fedrizzi, Hoxha Ambra, Elisabetta Manica, Alessia Mascotti, Angela Maria Lucia Rizzi, Giulia Schipilliti, Sveva Silvestri, Denise Taraboi, Martina Zanzotti.

- *Discussioni sulle potenzialità della tecnica atomica e sulle particelle elementari*, introduzione, biografia dell'autore, traduzione e note a cura delle classi VA e VB.
- *L'agire del singolo nella catastrofe politica* traduzione e note a cura della VB.
- *La via verso un nuovo inizio* traduzione e note a cura della VA.
Approfondimenti:
- *L'energia nucleare* a cura della VB.
- *Scienza e potere: dal mondo antico ad oggi* a cura della VB.
- *Metodo, creatività e meraviglia: il senso della scienza* a cura della VA.
- *Libertà e responsabilità dello scienziato* a cura della VA.
- *Illustrazioni:* Letizia Canella e Giulia Schipilliti.

A cura degli insegnanti:

Silvana Castelli, Francesca Conte, Fulvio Iachellini, Federica Mariscalco, Lorenzo Moggio, Alessandro Poli.

Titoli originali:

Werner Heisenberg,
Diskussionen über die Möglichkeit der Atomtechnik und über die Elementarteilchen (1935-1959)
Das Handeln des Einzelnen in der politischen Katastrophe (1937-1941)
Der Weg zum neuen Anfang (1941-1945)

tratti da: *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, 1969, Piper & Co. Verlag, München.

Indice

Prefazione degli insegnanti	pag. 4
Introduzione	pag. 5
Werner Karl Heisenberg	pag. 6
Werner Karl Heisenberg, Discussioni sulle potenzialità della tecnica atomica e sulle particelle elementari. (1935-1937)	pag. 7
Glossario	pag.16
Das Handeln des Einzelnen in der politischen Katastrophe	pag.18
Werner Karl Heisenberg, L'agire del singolo nella catastrofe politica (1937-1941)	pag.19
Der Weg zum neuem Anfang	pag.33
Werner Karl Heisenberg, La via verso un nuovo inizio (1941-1945)	pag.34
Approfondimenti	pag.47
L'energia nucleare	pag.48
Scienza e potere: dal mondo antico ad oggi	pag.60
Metodo, creatività e meraviglia: il senso della scienza	pag.69
Libertà e responsabilità dello scienziato	pag.73

PREFAZIONE DEGLI INSEGNANTI

Anche quest'anno le classi quinte dei corsi A e B (doppia lingua) del liceo B. Russell di Cles si sono cimentate, come ormai da quattro anni, con la traduzione e l'analisi di alcuni saggi autobiografici del fisico tedesco Werner Karl Heisenberg, tratti dalla raccolta: "Der Teil und das Ganze, Gespräche im Umkreis der Atomphysik". La traduzione di testi scientifici rappresenta il punto di incontro delle due vocazioni che caratterizzano questo corso di studio, quella appunto scientifica e quella linguistico-umanistica.

Il lavoro svolto dalle due classi quinte ha posto i ragazzi di fronte a notevoli difficoltà di carattere linguistico e concettuale, la loro attività è stata caratterizzata quindi da una precisa e approfondita analisi linguistica, accompagnata dal tentativo di conoscere e contestualizzare contenuti nuovi e complessi.

I saggi tradotti affrontano non solo tematiche di puro ambito scientifico, bensì anche di carattere storico ed etico-filosofico che si intersecano andando a caratterizzare il dibattito scientifico-morale relativo alla questione del nucleare e più in generale della responsabilità della scienza nei confronti della società.

All'attività di traduzione, effettuata da tutti i ragazzi delle due classi, sono stati aggiunti vari approfondimenti, a cura di piccoli gruppi di alunni, tali da offrire opportunità di conoscenza e confronto sulle tematiche in questione. Il contenuto e i risultati di questo lavoro verranno esposti dagli studenti il giorno 31 maggio nell'ambito di una presentazione-conferenza nell'auditorium della scuola, alla presenza di tutte le classi quinte dei corsi scientifico e classico.

Introduzione

I testi qui tradotti *Discussioni sulle potenzialità della tecnica atomica e sulle particelle elementari*, *L'agire del singolo nella catastrofe politica* e *La via verso un nuovo inizio* sono tratti dalla raccolta di saggi autobiografici del fisico teorico tedesco Werner Heisenberg *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik* del 1969. I suoi studi si focalizzano sulla fisica nucleare, e in particolare sulla progettazione e costruzione di una bomba atomica, con il cosiddetto *Progetto Uranio*.

Durante i suoi studi egli viene a contatto con personalità come Niels Bohr, Ernst Rutherford, Albert Einstein, Leonhard Euler, Paul Dirac, Carl Friedrich von Weizsäcker (già assistente di Lise Meitner), Otto Hahn e tanti altri.

Grazie alla collaborazione con i fisici sopra citati vi furono grandi progressi nell'ambito della fisica moderna, in particolare per quanto riguarda il nucleo atomico, la sua struttura e i suoi comportamenti.

Nei testi emergono anche le prime intuizioni e considerazioni sulla fissione nucleare e sulla probabilità di produrre artificialmente nuovi elementi chimici attraverso il bombardamento del nucleo tramite particelle molto veloci, nonché la possibilità di sfruttare tali conoscenze in ambito militare. Nell'ambito del *Progetto Uranio* si scoprì infatti che si può ricavare energia dalla materia e viceversa, in maniera analoga ai processi di fusione che avvengono naturalmente nelle stelle.

L'autore affronta inoltre il tema del dualismo delle onde e delle particelle, ipotesi formulata nel 1924 da De Broglie e secondo la quale anche la materia può avere una doppia natura come la luce.

Si può dunque concludere che la collaborazione di questi scienziati ha dato vita a scoperte e principi che ancora oggi sono colonne portanti della fisica e il cui utilizzo tecnologico ha aperto una serie inquietante di questioni etiche.

Werner Karl Heisenberg

Werner Karl Heisenberg, nato a Würzburg il 5 dicembre 1901, è stato un fisico tedesco, considerato uno dei principali artefici della meccanica quantistica.

Appassionato studioso della teoria dei numeri, completò il dottorato in fisica all'Università di Monaco in soli tre anni e poco dopo, nel 1927, fu nominato professore di fisica teorica presso l'Università di Lipsia, diventando così il professore più giovane della Germania.

Fu proprio in questo contesto che a soli 26 anni formulò il principio che porta il suo nome, Heisenberg è tuttora ricordato come il fisico teorico tedesco che a soli 26 anni fu l'autore del *Il Principio di Indeterminazione*, grazie al quale nel 1932 ottenne il Premio Nobel per la fisica da parte dell'Accademia Reale Svedese delle Scienze *per la creazione della meccanica quantistica*.

Ad Heisenberg vengono riconosciuti anche importanti contributi alle teorie dell'idrodinamica dei flussi turbolenti, del nucleo atomico, del ferromagnetismo, dei raggi cosmici e delle particelle subatomiche. Il suo contributo fu determinante nella pianificazione del primo reattore nucleare della Germania occidentale a Karlsruhe.

Durante la Seconda guerra mondiale era stato uno dei più importanti scienziati del programma di studio tedesco sulle armi nucleari, programma che fallì forse per mancanza di risorse, oppure, l'opzione più accreditata, perché egli non volle consegnare armi nucleari nelle mani dei nazisti, dei quali era sempre stato un oppositore. Dopo la fine della guerra, Heisenberg fu nominato direttore del *Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik*, che diresse fino al 1958, quando l'istituto fu trasferito a Monaco.

Nel 1969 fu pubblicata in Germania la sua autobiografia, *Der Teil und das Ganze*, poi tradotta in varie lingue. Heisenberg morì per un cancro ai reni il 1º febbraio 1976.



Werner Karl Heisenberg

Werner Karl Heisenberg

Discussioni sulle potenzialità della tecnica atomica e sulle particelle elementari. (1935-1937)

Nonostante l'inquietudine causata dalla rivoluzione tedesca¹ e dalla conseguente emigrazione si fosse diffusa nell'ambiente scientifico non solo nel nostro Paese, la fisica nucleare in quegli anni si sviluppò in modo sorprendentemente veloce. Nel laboratorio di Lord Rutherford² a Cambridge, in Inghilterra, Cockroft³ e Walton⁴ era stato costruito un macchinario ad alta tensione, con il quale si potevano accelerare i nuclei atomici dell'idrogeno, i protoni, a tal punto che quando li si sparava sul nucleo di un atomo leggero essi potevano superare la barriera provocata dalla scarica elettrica⁵, colpire il nucleo dell'atomo e trasformarlo. Con questo ed altri strumenti simili, in particolare con il ciclotrone sviluppato in America, fu possibile eseguire molti nuovi esperimenti di fisica nucleare, cosicché presto si delineò un quadro chiaro delle proprietà dei nuclei degli atomi e delle forze che agivano in essi. I nuclei atomici non potevano essere comparati, come invece è possibile per gli atomi interi ad un sistema planetario in piccola scala, in cui le forze maggiori derivano da un corpo pesante centrale che determina le orbite dei corpi leggeri. Piuttosto i diversi nuclei atomici sono in qualche misura simili a grandi gocce dello stesso genere di materia nucleare, che a sua volta consiste in parti uguali di protoni e neutroni. La densità di questa materia atomica formata da protoni e neutroni è approssimativamente la stessa in tutti i nuclei atomici. Tuttavia la forte repulsione elettrostatica dei protoni fa sì che il numero di neutroni dei nuclei pesanti sia leggermente maggiore di quello dei protoni. Le intense forze che tengono insieme la materia nucleare non vengono alterate con uno scambio di neutroni e protoni; - questa supposizione era allora già consolidata - inoltre la simmetria risultante tra il protone e il neutrone, sulla quale avevo già fantasticato nel rifugio dello Steiler Alm⁶, si esprime anche sperimentalmente nel fatto che alcuni nuclei atomici emettono elettroni e altri positroni durante il decadimento beta. Per continuare a studiare in dettaglio le relazioni nel nucleo atomico, nel nostro seminario di Lipsia, provammo a considerarlo come una goccia quasi sferica di materia nucleare, come una sorta di contenitore sferico, nel quale i neutroni e i protoni corrono liberamente senza interferire significativamente l'uno con l'altro. Niels⁷ invece a Copenaghen riteneva diversamente molto

¹ Col termine *rivoluzione* l'autore si riferisce all'avvento del Nazionalsocialismo.

² **Ernest Rutherford (1871 -1937)**, chimico e fisico britannico, Nobel per la chimica nel 1908, diede un contributo fondamentale alla fisica tramite il suo modello atomico.

³ **John Douglas Cockroft (1897 -1967)**, fisico britannico, nel 1932 insieme a Ernest Walton sviluppò un tipo di generatore di particelle ottenendo la disintegrazione nucleare, ottenne poi il Nobel per la fisica assieme a Walton nel 1951.

⁴ **Ernest Thomas Sinton Walton (1903 -1995)**, fisico irlandese, vinse assieme a John Douglas Cockroft il Nobel per la fisica del 1951 per l'invenzione dell'acceleratore di particelle.

⁵ Ovvero, *nube elettronica*.

⁶ Il riferimento è ad una vacanza sulla neve nel 1933, durante la quale l'autore, in compagnia di colleghi ricercatori, intuì importanti concetti della fisica che avrebbe poi sviluppato.

⁷ **Niels Henrik David Bohr (1865 -1962)**: fisico danese vincitore del premio Nobel per la fisica nel 1922 per la comprensione della struttura atomica e della meccanica quantistica.

importante l'interazione dei singoli elementi costitutivi del nucleo considerandolo quindi piuttosto come una sorta di sacchetto di sabbia.

Per chiarire di persona questa differenza di opinioni, nel periodo tra l'autunno del 1935 e quello del 1936, tornai per un'altra settimana a Copenaghen; come ospite della famiglia Bohr, ebbi a disposizione una camera nell'appartamento che a Bohr e ai suoi era stato assegnato dallo Stato danese con i fondi della Fondazione Carlsberg. Questa casa ebbe per molti anni un ruolo particolarmente importante, come luogo di incontro per i fisici nucleari. Si trattava di un edificio in stile pompeiano dove si avvertivano ancora le forti influenze del famoso scultore Thorvaldsen sulla vita culturale danese. Dal soggiorno una scalinata decorata con diverse sculture conduceva al grande parco, il cui centro era animato da una fontana tra aiuole, dove alti alberi secolari offrivano riparo dal sole e dalla pioggia. Dal corridoio dell'appartamento si entrava nel giardino d'inverno, in cui il gorgoglio di una piccola fontana interrompeva il silenzio dominante, altrimenti presente in quella parte della casa. Facevamo spesso 'ballare' le palline da ping-pong sul getto della fontana, per poi parlare delle cause fisiche di quel gioco. Dietro il giardino d'inverno c'era una grande sala con colonne doriche, spesso utilizzata per i festeggiamenti in occasione dei convegni scientifici. In questa casa ospitale ebbi allora la possibilità di vivere con la famiglia Bohr per alcune settimane e fu così anche per il fisico inglese Lord Rutherford, il padre della fisica nucleare moderna, come verrà chiamato in seguito, che trascorse un periodo di vacanza dai Bohr a Copenaghen. Succedeva quindi spesso che passeggiassimo per il parco in tre, scambiandoci le nostre opinioni sugli ultimi esperimenti o sulla struttura dei nuclei atomici. Voglio cercare di richiamare alla memoria una di quelle conversazioni.



Niels Bohr

Ernest Rutherford

Lord Rutherford: “Cosa succederebbe, secondo voi, se noi costruiamo strumenti ad alta tensione più grandi o altri acceleratori e se sparassimo protoni con energia e velocità superiori verso i nuclei atomici più pesanti? Il veloce proiettile spaccherà semplicemente il nucleo atomico senza causare troppi danni, oppure resterà imprigionato al suo interno, trasferendo infine la sua energia cinetica totale al nucleo? Se l'interazione tra le singole componenti dell'atomo è molto importante, come pensa Niels, il proiettile dovrebbe restare incastrato. Se però protoni e neutroni sono praticamente indipendenti nel

nucleo atomico, e non si influenzano fortemente a vicenda, forse il proiettile potrebbe passare attraverso il nucleo, senza causare ulteriori perturbazioni”.

Niels: “Mi piacerebbe credere che il proiettile rimanga bloccato nel nucleo e che la sua energia cinetica si distribuisca in modo abbastanza uniforme su tutte le componenti nucleari, perché l'interazione è molto grande. Il nucleo dell'atomo si riscalda semplicemente e il grado di riscaldamento può essere calcolato in base al calore specifico della materia nucleare e all'energia contenuta nel proiettile. Quello che accadrà in seguito può essere meglio definito come una parziale evaporazione del nucleo. Ciò significa che le singole particelle sulla superficie conservano occasionalmente un'energia così elevata da lasciare il nucleo. Ma tu, cosa ne pensi?”

Il destinatario della domanda ero io.

“Vorrei veramente credere e accettare quello che dici” - risposi - “anche se ciò non sembra rientrare totalmente nelle ipotesi che abbiamo formulato a Lipsia su quelle particelle nucleari che orbitano, per così dire, liberamente nel nucleo. Però una particella molto veloce che penetra nel nucleo subirà sicuramente molteplici urti a causa delle potenti forze di scambio e con questo perderà la sua energia. Ma, se la velocità della particella è bassa, cioè se essa si muove all'interno del nucleo dell'atomo solo con energia trascurabile, la situazione può rivelarsi diversa, perché poi entrerebbe in gioco la natura ondulatoria della particella e il numero di possibili trasferimenti di energia diminuirebbe. In questo caso, trascurare l'interazione potrebbe essere un'approssimazione accettabile. Tuttavia ciò si dovrebbe poter calcolare facilmente, poiché di fatto conosciamo già abbastanza sul nucleo atomico. Questo calcolo me lo riserverei per Lipsia.

Vorrei però porre una ulteriore domanda: si può davvero pensare, che si arrivi finalmente ad un'applicazione tecnica della fisica nucleare con acceleratori sempre più grandi, che possano produrre artificialmente nuovi elementi chimici in grandi quantità o in maniera analoga sfruttare l'energia di legame del nucleo, come l'energia chimica di legame viene sfruttata nella combustione? Ci potrà essere un romanzo inglese, ambientato nel futuro, in cui un fisico nel momento di tensione politica più alto per il suo Paese inventi una bomba atomica con la quale, come un *deus ex machina*, ne elimina tutte le difficoltà politiche. Questi sono naturalmente solo sogni. Tuttavia il fisico-chimico Nernst⁸, in maniera più seria, ha affermato una volta a Berlino che la terra è in realtà una sorta di polveriera, a cui per ora manca solo il fiammifero con cui poterla scaraventare in aria. Anche questo è proprio vero: se si potessero unire quattro atomi di idrogeno ad un atomo di elio in acqua di mare, si libererebbe un'energia così grande, che il paragone con la polveriera potrebbe essere considerato soltanto una ridicola minimizzazione.”

⁸ **Walther Hermann Nernst (1864-1941)**, chimico tedesco, conosciuto per aver formulato la terza legge della termodinamica nel 1906. Nel 1920 vinse il premio Nobel per il suo contributo nella termochimica e nel 1924 fu nominato direttore del *Physikalisch-Chemisches Institut* di Berlino.

Niels: “No, simili considerazioni non sono finora state comprese fino in fondo. La differenza decisiva fra la chimica e la fisica nucleare consiste proprio nel fatto che i processi dinamici in chimica si svolgono generalmente considerando la maggioranza delle molecole della sostanza in questione, per esempio nella polvere, mentre noi nella fisica nucleare possiamo svolgere i nostri esperimenti solo con un ristretto numero di nuclei atomici; ciò non cambierà sostanzialmente neanche avendo a disposizione acceleratori di particelle migliori. Il numero di processi che avvengono in un esperimento chimico sta a quello presente negli esperimenti di fisica nucleare, come il nostro sistema planetario sta ad una pietruzza; quindi non cambierebbe molto se si sostituisse il sassolino con un masso. Sarebbe naturalmente diverso, se si potesse portare una porzione di materia ad una temperatura così elevata da far sì che l'energia basti alla singola particella per vincere la forza di repulsione tra i nuclei degli atomi e se al tempo stesso si potesse mantenere la densità della materia così alta da rendere gli urti meno rari. Ma così si dovrebbe arrivare a temperature di -diciamo- 1 miliardo di gradi e a simili temperature non esistono chiaramente recipienti nei quali inserire la materia; sarebbe tutto evaporato da tempo.”

Lord Rutherford: “Finora non si è parlato del fatto che si potrebbe ottenere energia dai processi nucleari atomici, poiché l'energia viene realmente liberata nel caso di cattura di un protone o di un neutrone da parte di un nucleo atomico in un processo unico. Ma affinché avvenga un tale processo, serve molta più energia; per esempio per l'accelerazione di molti protoni, la maggior parte dei quali non colpisce nulla. La maggior parte di questa energia va persa sotto forma di movimento termico e finora gli esperimenti sul nucleo atomico si sono rivelati una causa persa. Chi parla di un impiego dell'energia del nucleo atomico racconta cose senza senso.”

Su questa questione ci trovammo rapidamente d'accordo e nessuno di noi sospettava all'epoca che, pochi anni dopo, la scoperta della fissione dell'uranio di Otto Hahn⁹ avrebbe cambiato totalmente la situazione.

Del caos di quei mesi¹⁰ arrivava poco nella quiete del parco di Bohr. Ci sedemmo su una panca all'ombra di un grosso albero e osservammo come le folate di vento soffiassero via da un lato di tanto in tanto le gocce della fontana a zampillo e come le singole gocce restassero appese alle foglie di rosa che lì brillavano al sole.

Dopo il mio ritorno a Lipsia eseguii i calcoli promessi. Questi confermarono la supposizione di Niels, secondo cui, di norma, i protoni portati a grandi velocità dai grandi acceleratori di particelle rimangono nel nucleo atomico e si eccitano attraverso una collisione. Circa nello stesso periodo, processi di questo tipo vennero realmente osservati con protoni veloci provenienti dal processo di

⁹ **Otto Hahn (1879-1968)**, un chimico e fisico tedesco, importante ricercatore nel campo della radioattività, chimica e fisica nucleare. La scoperta del fenomeno della fissione nucleare in atomi di uranio bombardati con neutroni gli valse nel 1944 il premio Nobel per la chimica.

¹⁰ Il riferimento è alla complessa situazione politica del periodo.

radiazione cosmica. Lo stesso calcolo sembrava anche poter giustificare il fatto che analizzando la struttura interna dei nuclei atomici sia possibile prescindere dalla forte interazione delle singole particelle. Noi proseguimmo in questa direzione anche le nostre analisi a Lipsia. Carl-Friedrich¹¹, che era stato assistente di Lise Meitner¹² nell'istituto Otto Hahn a Dahlem, venne alle nostre presentazioni del seminario da Berlino a Lipsia e ci raccontò, in uno di quegli incontri, degli studi sui processi nucleari all'interno del sole e delle stelle. Egli poté dimostrare teoricamente che reazioni molto specifiche tra nuclei leggeri avvengono nella parte interna più calda delle stelle e che l'enorme energia, che da esse viene costantemente emessa, deriva ovviamente da questi processi nucleari. In America, Bethe¹³ pubblicò delle ricerche analoghe e capimmo che le stelle andassero considerate come giganti fornaci atomiche, in cui la produzione di energia non è tecnicamente controllabile, ma si svolge costantemente davanti ai nostri occhi come fenomeno naturale. Tuttavia non si poteva ancora parlare di tecnica atomica.

Nel nostro seminario di Lipsia non lavoravamo solo sul nucleo atomico. Nel frattempo avevamo sviluppato anche ulteriori ragionamenti, con i quali io, durante quella notte nella baita dello Steiler Alm, avevo cercato di comprendere la natura della particella elementare. L'ipotesi di Paul Dirac¹⁴ sull'esistenza dell'antimateria dopo tanti esperimenti era diventata un elemento più sicuro della nostra scienza. Noi sapevamo che in natura esiste almeno un processo nel quale l'energia si trasforma in materia. Dall'energia delle radiazioni si possono formare coppie di elettroni e positroni. Si era vicini al comprendere che potessero esistere altri processi di questo tipo e noi provammo ad immaginare quale ruolo questi potessero avere se delle particelle si fossero scontrate ad elevate velocità.

Il mio successivo interlocutore in tali riflessioni fu Hans Euler¹⁵ che avevamo incontrato alcuni anni prima, da giovane studente. Mi era rimasto impresso già da prima, non solo per il suo talento superiore alla media, ma anche per il suo aspetto. Egli era più delicato, più sensibile della maggior parte degli studenti e alcune volte si poteva riconoscere nettamente, quando rideva, un tratto sofferente nel suo viso. Egli aveva una faccia lunga e magra, quasi un po' incavata, con ricci biondi e quando parlava si notava una concentrazione così intensa, che per un giovane era insolita. Si poteva facilmente intuire che aveva grandi difficoltà economiche e io ero felice di avergli trovato un posto, anche se modesto, come assistente. Dopo un po' di tempo guadagnai la sua piena fiducia ed egli mi confessò le sue difficoltà in

¹¹ **Carl-Friedrich von Weizsäcker (1912-2007)**, studiò fisica, astronomia e matematica con Werner Heisenberg e Niels Bohr. Tra il 1933 e il 1946 docente di fisica teorica nelle università di Berlino e Strasburgo.

¹² **Lise Meitner (1878 – 1968)** fisica austriaca naturalizzata svedese. È conosciuta per i suoi lavori sulla radioattività e la fisica nucleare. I suoi lavori furono decisivi per la spiegazione teorica della fisica nucleare.

¹³ **Hans Albrecht Bethe (1906-2005)**, fisico e astronomo tedesco. Studiò presso l'università Ludwig Maximilian di Monaco. Nel 1937 si trasferì negli Stati Uniti dove diresse e prese parte al progetto Manhattan per la costruzione della bomba atomica a Los Alamos. Grazie a una sua teoria che rese possibile una revisione del diagramma H-R, nel 1967 gli fu assegnato il premio Nobel per la fisica.

¹⁴ **Paul Adrien Maurice Dirac (1902 -1984)**, fisico britannico che nel 1933 vinse il Premio Nobel per la fisica per "la scoperta di nuove e produttive forme della teoria dell'atomo". È considerato uno dei più importanti fisici del ventesimo secolo per i fondamentali contributi che diede allo sviluppo della meccanica quantistica e alla teoria quantistica dei campi formulando "l'equazione d'onda"

¹⁵ **Hans Euler (1909 -1941)**, fisico tedesco. Ha conseguito il dottorato di ricerca nel 1935 presso l'Università di Lipsia assieme ad Heisenberg con una tesi *Über die Streuung von Licht an Licht nach der Diracschen Theorie*.

tutta la loro gravità. I suoi genitori non riuscivano a procurarsi i mezzi per la sua educazione, lui stesso era un convinto comunista e forse già suo padre si era trovato in difficoltà per motivi politici. Euler si era innamorato di una ragazza, che per la sua origine ebraica, era dovuta emigrare dalla Germania e viveva ora in Svizzera. Del gruppo di persone che dal 1933 deteneva il potere politico in Germania lui sapeva parlare solo con disprezzo, ma discuteva di questo tema sempre contro voglia. Allora, in quegli anni, per aiutarlo, invitavo Euler molto spesso a pranzare nel mio appartamento e nei nostri discorsi parlavamo della possibilità che lui emigrasse. Tuttavia egli non aveva mai preso seriamente in considerazione questa opzione e io avevo l'impressione che si sentisse molto legato alla Germania, anche se non ne parlava volentieri.



Hans Euler

Così frequentavo spesso Euler e discutevamo delle possibili conseguenze della scoperta di Dirac e della trasformazione dell'energia in materia.

Euler potrebbe avere chiesto: “Noi abbiamo imparato certamente da Dirac che un quanto di luce che sfiora il nucleo di un atomo può trasformarsi in una coppia di particelle, un elettrone e un positrone. Questo significa veramente che un quanto di luce è composto da un elettrone e un positrone? Allora il quanto sarebbe una sorta di sistema a doppia stella in cui l'elettrone e il positrone ruotano l'uno attorno all'altro. O forse questa è un'ipotesi falsa?”.

“Io non credo che tale supposizione corrisponda a verità, perché da questa immagine si potrebbe certamente dedurre che la massa di questa doppia stella non dovrebbe essere molto più piccola della somma delle masse delle due parti di cui è composta. E non si potrebbe comprendere perché questo sistema si muova sempre nello spazio alla velocità della luce; esso potrebbe anche giungere allo stato di quiete da qualche parte.”

“Ma allora cosa bisogna dire riguardo al quanto di luce in questo contesto?”

“Forse si potrebbe affermare che un quanto di luce sia costituito virtualmente da un elettrone e un positrone. Il termine ‘virtualmente’ lascia intendere che si tratterebbe di una possibilità. Quanto sopra citato, quindi, afferma solamente che il quanto di luce, in determinati esperimenti, si potrebbe scindere in un elettrone e un positrone. Nient'altro.”

“Allora in un forte impulso energetico un quanto di luce potrebbe essere trasformato in due elettroni e due positroni.

Lei vorrebbe dire che il quanto di luce virtualmente è formato anche da queste quattro particelle?”

“Sì, io credo, che ciò sarebbe coerente. Il termine ‘virtualmente’, che indica la possibilità, permette di affermare che il quanto di luce è composto da due o quattro particelle. Le due diverse possibilità non possono essere escluse.”

“Ma cosa si guadagna con un'affermazione del genere?” obiettò Euler. “Allora allo stesso modo si può dire che ogni particella elementare sia formata virtualmente da un numero qualsiasi di altre particelle elementari. Qualsiasi numero di particelle può essere formato con processi di immissione di energia molto elevata. Questa non è quasi più un'affermazione”.

“No, i numeri e i tipi di particelle non sono così generici, certamente no. Solo tali configurazioni potevano essere prese in considerazione come descrizione delle particelle rappresentate, che hanno la stessa simmetria di quelle originarie. Invece di simmetrie si può parlare ancora più esattamente di proprietà di trasformazione rispetto a tali operazioni, tra le quali le leggi della natura rimangono immutate. Abbiamo certamente già imparato dalla meccanica quantistica che le condizioni stazionarie di un atomo sono caratterizzate dalle sue proprietà di simmetria.

Sarà lo stesso con le particelle elementari, che sono anche stati stazionari della materia.”

Euler non era del tutto soddisfatto. “Quello che Lei sta dicendo ora diventa abbastanza astratto. Sarebbe più importante elaborare esperimenti che procedano in modo diverso da quello ipotizzato prima, perché i quanti di luce sono virtualmente costituiti da coppie di particelle. Si potrebbe presumere che si otterrebbero risultati almeno qualitativamente ragionevoli, se si prendesse sul serio per un momento l'immagine del sistema a doppia stella e se si chiedesse cosa ne dovrebbe derivare secondo la fisica classica. Per esempio, ci si potrebbe interessare al problema se due raggi di luce che si incrociano nello spazio vuoto si attraversino liberamente, com'è sempre stato ipotizzato e come richiedevano le vecchie equazioni di Maxwell¹⁶. Quando nel raggio di luce virtuale, cioè come possibilità, sono presenti coppie di elettroni e positroni, allora l'altro raggio potrebbe essere certamente deviato da queste particelle; quindi dovrebbe esserci una dispersione dalla luce alla luce, una perturbazione reciproca di entrambi i raggi, che potrebbe essere calcolata dalla teoria di Dirac e potrebbe essere osservata sperimentalmente.”

“Se si possa osservare qualcosa del genere dipende naturalmente da quanto grandi sono queste perturbazioni reciproche. Ma Lei dovrebbe assolutamente calcolare i loro effetti. Magari i fisici sperimentali troveranno anche i mezzi e i percorsi per dimostrarne la presenza.”

¹⁶ **Maxwell James Clerk** (1831 – 1879), fisico e matematico britannico. Contribuì allo sviluppo della fisica con la teoria del campo elettromagnetico e la prima formulazione statistica della teoria cinetica dei gas.

“In verità penso che questa filosofia del *come se*, che qui viene proposta, sia proprio curiosa. Il quanto di luce si comporta in molti esperimenti così *come se* fosse composto da un elettrone e un positrone, ma esso certe volte si comporta anche *come se* fosse composto da due o più coppie simili. Apparentemente ci ritroveremmo in una fisica indefinita e vaga. Ma si potrebbe calcolare con grande sicurezza, tramite la teoria di Dirac, la probabilità che un particolare risultato si verifichi e questi esperimenti sono già stati provati dai risultati.”

Io tentai di rielaborare la teoria del *come se*: “Lei sa che ultimamente i fisici sperimentali hanno trovato una sorta di particella elementare di media gravità, i mesoni. Inoltre già conosciamo l'esistenza delle forze intense che tengono unito il nucleo dell'atomo e alle quali anche qualsiasi particella elementare deve corrispondere secondo il dualismo dell'onda e della particella. Per di più è probabile che esistano molte altre particelle elementari, delle quali noi finora non siamo a conoscenza, solamente perché la durata della loro vita è troppo breve. Si può poi confrontare una particella elementare secondo questa filosofia del *come se* anche con un nucleo dell'atomo oppure con una molecola, ovvero si può fare finta che la singola particella elementare sia un agglomerato di parecchie particelle elementari, eventualmente di svariati tipi. Perdipiù si può anche ricordare la domanda che Lord Rutherford mi ha posto recentemente a Copenaghen riguardo al nucleo dell'atomo: *Cosa succede quando facciamo scontrare una particella elementare ad alta energia con un'altra? Rimarrà bloccata nell'ammasso di particelle, provocando il suo riscaldamento e poi l'evaporazione, oppure penetrerà attraverso l'ammasso senza creare interazioni?* Questo naturalmente dipende ancora una volta dalla forza dell'interazione nel processo, ma di fronte a ciò non sappiamo praticamente nulla. Però forse vale la pena per ora limitarsi alle interazioni già conosciute e verificare cosa si scopre.”

Eravamo ancora lontani, ai tempi, da una vera *fisica delle particelle elementari*. Solo per quanto riguarda i raggi cosmici c'erano chiare indicazioni sperimentali; ma in questo ambito non emergeva ancora alcuna prova empirica. Euler volle sapere se io fossi ottimista o pessimista sullo lo sviluppo in questo ramo della fisica atomica e disse:

“Con la scoperta di Dirac, quindi con l'esistenza dell'antimateria, tutto il quadro è diventato molto più complicato. Per un po' è sembrato che si potesse costruire il mondo intero con solo tre componenti: protone, elettrone e quanto di luce. Si trattava di un'idea semplice e si poteva sperare che ben presto se ne sarebbe compreso l'essenziale. Ma ora il quadro è sempre più confuso. La particella elementare non è più in realtà così elementare; si tratta, almeno virtualmente, di una rappresentazione molto complicata. Questo però non significa che noi siamo molto più lontani da una reale comprensione di quanto non si potesse sperare.”

“No, questo non lo ammetterei mai. Dato che l'immagine precedente con i tre elementi fondamentali non era decisamente credibile. Perché mai dovrebbero esistere tre unità così arbitrarie, delle quali una, il protone, è esattamente 1836 volte più pesante dell'altra, l'elettrone? In che modo è

quantificato il numero 1836? E perché queste unità dovrebbero essere indistruttibili? Con qualsiasi energia elevata possono essere certamente sparati l'uno contro l'altro; è credibile che la loro stabilità superi ogni limite? Ora, dopo la scoperta di Dirac questo sembra molto più sensato. La particella elementare, così come lo stato stazionario di un atomo, è determinata dalle sue proprietà di simmetria. La stabilità delle forme, che Bohr all'epoca fece diventare il punto di partenza della sua teoria e che può essere compresa in linea di principio nella meccanica quantistica, è anche responsabile dell'esistenza e della stabilità delle particelle elementari. Queste forme, quando vengono distrutte, si ricostruiscono continuamente, così come gli atomi dei chimici; questo perché la simmetria è inerente alla legge della natura stessa. Certo, siamo ancora lontani dal riuscire a formulare le leggi della natura responsabili della struttura delle particelle elementari. Ma potrei ben immaginare che in futuro da loro si possa calcolare questo numero, il 1836. In realtà, sono affascinato dall'idea che la simmetria sia qualcosa di più fondamentale della particella stessa. Questo rientra nello spirito della teoria quantistica così come è sempre stata concepita da Bohr. Rientra anche nella filosofia di Platone, ma, come fisici, ciò non deve interessarci per il momento. Rimaniamo a quanto possiamo indagare nell'immediato. Lei dovrebbe calcolare la dispersione della luce da parte della luce, e io mi occuperò della domanda più generale di ciò che accade nello scontro di particelle elementari molto ricche di energia.”

Nei mesi successivi ci attenemmo a questo programma di lavoro e attraverso i miei calcoli emerse che già l'interazione, che è determinante per il decadimento radioattivo beta dei nuclei degli atomi, può diventare molto forte in presenza di alte energie, per le quali è anche possibile, attraverso la collisione di due particelle elementari cariche di energia, che si generino molte nuove particelle. Per questa cosiddetta costituzione molteplice di particelle elementari esistevano allora tracce nella radiazione cosmica, ma non esistevano ancora buone prove sperimentali. Solo dopo 20 anni fu possibile osservare direttamente tali processi in grandi acceleratori. Euler insieme ad un altro membro del mio seminario, Kockel¹⁷, calcolò la dispersione della luce sulla luce e, nonostante l'evidenza sperimentale non potesse essere condotta in modo diretto, oggi non c'è più alcun dubbio sul fatto che la teoria sulla dispersione sostenuta da Euler e Kockel sia vera.

¹⁷ **Wilhelm Paul Bernhard Kockel** (1909 - 1987), fisico tedesco, allievo e assistente di Heisenberg, studioso di fisica delle particelle e della teoria di Dirac.

GLOSSARIO

- acceleratori di particelle: macchine che hanno lo scopo di accelerare le particelle fino a velocità prossime a quelle della luce, in modo che queste acquistino una grande energia, necessaria per collidere contro un'altra.
- atomo leggero: atomi in cui il numero di neutroni è uguale a quello dei protoni. Al crescere del numero atomico il numero dei neutroni aumenta più velocemente di quello dei protoni.
- calore specifico: quantità di calore necessaria per aumentare o diminuire la temperatura di una certa quantità di sostanza.
- ciclotrone: strumento usato per accelerare fasci di particelle elettricamente cariche utilizzando una corrente alternata ad alta frequenza ed alta tensione tramite opportuna applicazione di campi elettrici e magnetici.
- decadimento beta: è un tipo di decadimento radioattivo, ovvero una delle reazioni nucleari spontanee attraverso le quali elementi radioattivi si trasformano in altri con diverso numero atomico.
- eccitazione di una particella: processo per cui le particelle passano da uno stato energetico a uno maggiore per assorbimento di energia.
- elettrone: particella subatomica con carica elettrica negativa (-e) che si ritiene essere una particella elementare.
- energia cinetica: energia legata al movimento di un corpo.
- energia chimica di legame: energia che permette agli atomi di mantenere una struttura stabile nel tempo.
- energia di legame del nucleo: per un nucleo atomico è l'energia necessaria per disintegrare un nucleo atomico protoni e neutroni liberi.
- forze di scambio: effetto quantistico che coinvolgono coppie di particelle identiche che risultano indistinguibili.
- interazione: reciproca influenza tra particelle con conseguente modifica della loro energia.
- legge della natura (o legge fisica): è l'espressione matematica per esprimere una regolarità riscontrata nei fenomeni fisici o naturali.
- Massa e carica delle particelle

Particelle	Massa (Kg)	Carica (C)
protone	$1,672 \times 10^{-27}$	$1,6 \times 10^{-19}$
neutrone	1.675×10^{-27}	0
elettrone	9.11×10^{-31}	-1.6×10^{-19}

La massa del protone è molto più grande della massa dell'elettrone; essa corrisponde a 1836 volte la massa dell'elettrone.

- meccanica quantistica: teoria fisica che descrive il comportamento delle radiazioni, della materia e delle loro interazioni sia come fenomeni ondulatori che come entità corpuscolari.
- neutrone: particella subatomica con carica elettrica nulla.
- natura ondulatoria della particella: (dualismo onda-particella) si intende la duplice natura, sia corpuscolare sia ondulatoria, del comportamento della materia e della radiazione elettromagnetica.
- nucleo atomico: la parte centrale, densa, di un atomo, costituita da protoni che possiedono carica positiva e neutroni che non possiedono carica, detti collettivamente nucleoni. Il nucleo ha dimensioni dell'ordine di 10^{-15} m.
- particella: costituente microscopico della materia, si dividono in elementari (considerate indivisibili) e non-elementari (aggregati delle prime).
- perturbazione: variazione di un fenomeno che solitamente si manifesta con regolarità.

- positrone: chiamato anche antielettrone, è l'antiparticella dell'elettrone con carica elettrica positiva (+e) uguale e opposta a quella dell'elettrone e stessa massa.
- processi nucleari all'interno del sole e delle stelle: all'interno del sole e delle stelle avvengono delle reazioni di fusione nucleare di idrogeno, che portano alla creazione dell'elio (il quale è più pesante dell'idrogeno). Questo processo libera enormi quantità di energia e può durare miliardi di anni.
- protone: particella subatomica con carica elettrica positiva pari a $1,6 \times 10^{-19}$.
- protoni veloci provenienti dal processo di radiazione cosmica: protoni che si muovono alla velocità della luce e colpiscono la Terra da ogni direzione provenendo dal cosmo.
- quanto di luce: storicamente questo termine viene utilizzato per indicare il fotone (scoperto intorno al XX secolo), il fotone è infatti il quanto di energia della radiazione elettromagnetica con massa nulla e spin pari a 1.
- repulsione elettrostatica: forza repulsiva tra cariche dello stesso segno.
- scarica elettrica: fenomeno che succede quando, a un dato momento, due conduttori di potenziale diverso sono messi in grado di neutralizzare le loro cariche attraverso un corpo interposto.
- stato stazionario di un atomo: anche conosciuto come stato d'equilibrio. Il sistema atomico possiede un numero di stati elettronici in cui non vi è emissione di radiazione (STATI STAZIONARI). Dunque l'elettrone percorre queste orbite stabili senza irradiare.
- stato di quiete: in fisica è la condizione macroscopica di un corpo che non sia soggetto a moto.
- sistema stella doppia o binaria: è un sistema stellare formato da due stelle che orbitano intorno al loro comune centro di massa; la stella più luminosa viene chiamata primaria, mentre l'altra viene chiamata compagna o secondaria. si tratta di coppie di stelle che appaiono vicine se osservate dalla Terra, ma che non hanno alcun legame gravitazionale fra loro.
- teoria di Dirac: fu formulata nel 1928 da Paul Dirac. L'equazione di Dirac rappresenta l'energia di una particella elementare. È utilizzabile per particelle come gli elettroni e i quark, in quanto possiedono spin $\frac{1}{2}$.
- urto: fenomeno meccanico che si produce nell'interazione di due o più corpi, opportunamente in moto l'uno rispetto all'altro.
- velocità della luce: velocità della radiazione elettromagnetica nel vuoto, ha valore pari a 299 792 458 m/s e si indica con la lettera c.

Das Handeln des Einzelnen in der politischen Katastrophe

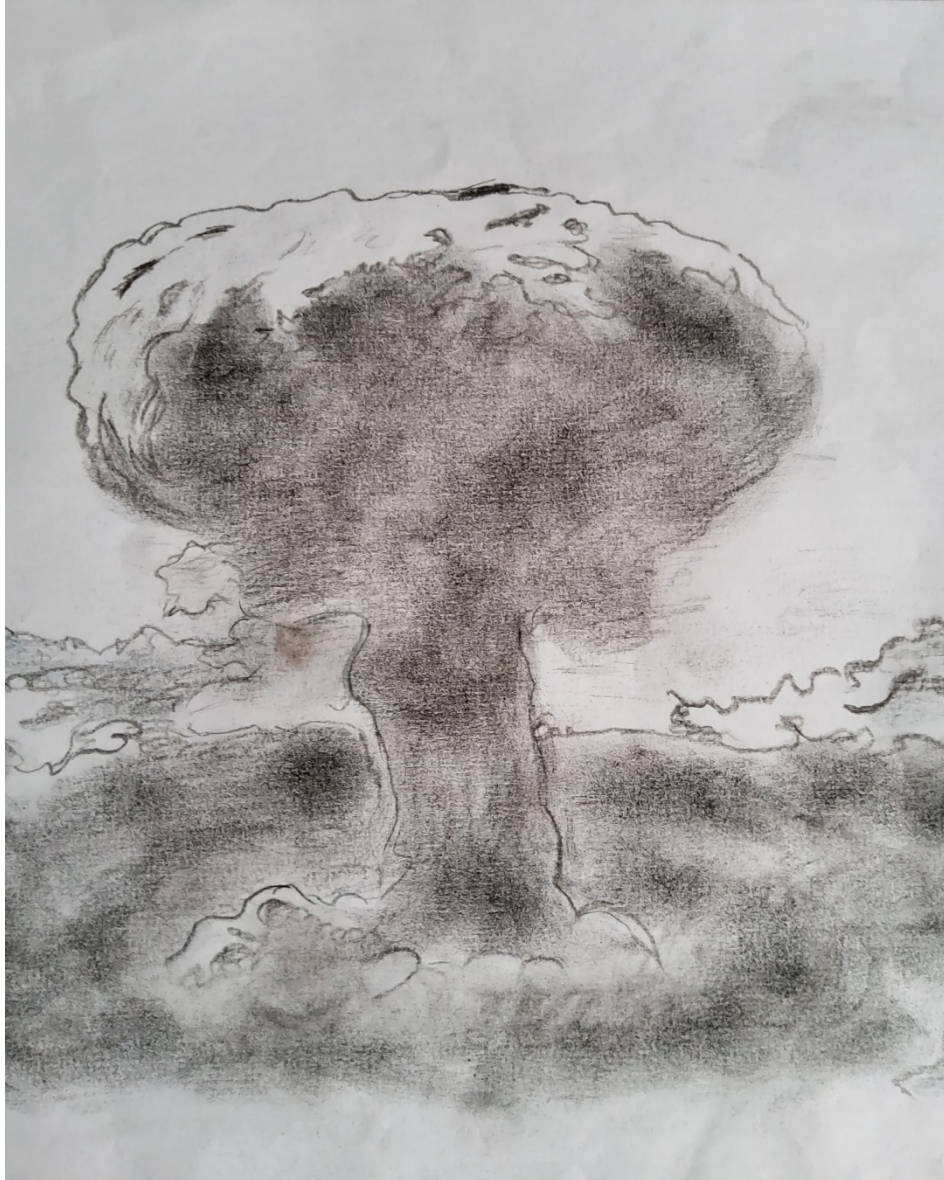


Illustrazione di Giulia Schipilliti

Werner Karl Heisenberg

L'agire del singolo nella catastrofe politica (1937-1941)

Gli anni precedenti alla Seconda guerra mondiale, per quanto li abbia trascorsi in Germania, mi sono sempre apparsi come un periodo di infinita solitudine. Il regime nazionalsocialista si era così tanto radicato che un miglioramento delle condizioni dall'interno non era più pensabile. Al tempo stesso il nostro Paese si era isolato sempre di più dal resto del mondo e si percepiva chiaramente che all'estero iniziavano a formarsi delle forze contrarie al regime. Gli armamenti militari venivano incrementati di anno in anno e sembrava essere solo una questione di tempo, queste potenze organizzate si sarebbero prima o poi presentate per una battaglia senza pietà, che non avrebbe potuto più essere mitigata da nessuna legge internazionale, convenzione di guerra o limitazione morale. A ciò si aggiungeva l'isolamento dell'individuo in Germania. La comunicazione tra le persone era diventata difficile. Solo nella cerchia più stretta di amici si poteva parlare liberamente. Con tutti gli altri si usava un linguaggio cauto e riservato, che nascondeva più di quanto comunicasse. La vita in questo mondo di sfiducia era per me insopportabile e la consapevolezza che alla fine di questo processo ci sarebbe potuta essere solo una catastrofe totale per la Germania mi aveva reso inesorabilmente chiaro quanto fosse difficile il compito che mi ero prefissato dopo la mia visita a Plank.¹⁸

Così mi ricordo di una grigia, fredda mattina del gennaio 1937, durante la quale dovevo vendere contrassegni per la raccolta invernale di beneficenza per le strade del centro di Lipsia. Anche questa attività rientrava nelle umiliazioni e nei compromessi che si dovevano sopportare in quel periodo – sebbene ci si poteva anche convincere del fatto che una colletta per i poveri in realtà non fosse nulla di male. Mentre andavo in giro con la cassetta per l'elemosina mi trovavo in una condizione di completa disperazione. Non a causa del preteso gesto di assoggettamento, che non mi sembrava importante, bensì per via della completa mancanza di senso e di speranza in ciò che facevo e in ciò che succedeva intorno a me. Così mi ritrovai in uno stato d'animo strano e inquieto. Le case lungo le strade strette mi sembravano lontane e quasi irreali, come se fossero già distrutte e rimanessero ancora solo come immagini; le persone sembravano trasparenti, i loro corpi erano in qualche modo già usciti dal mondo materiale e solo la loro struttura spirituale era ancora riconoscibile. Dietro queste figure indistinte e il cielo grigio percepivo una forte luminosità. Notai come alcune persone mi trattavano con particolare gentilezza e mi davano il loro contributo con uno sguardo che per un attimo mi richiamava dalla mia lontananza e che poi mi legava strettamente a loro. Ma poi tornavo ad essere lontano e iniziavo a percepire come questa estrema solitudine stesse andando oltre le mie forze.

La sera dello stesso giorno ero stato invitato nella casa dell'editore Bucking per suonare musica

¹⁸ **Max Plank (1858 - 1947)**, fisico tedesco, padre della fisica quantistica. I suoi studi, avviati nel 1901, gli valsero il premio Nobel per la fisica, di cui fu insignito nel 1908.

da camera. Con il giurista Jacobi dell'università di Lipsia, che era un eccellente violinista e amico fedele, e con il padrone di casa come violoncellista avrei dovuto suonare il Trio in Sol maggiore di Beethoven, che conoscevo bene già dalla mia giovinezza. Mi ero già esibito nel 1920 in quel pezzo lento alla festa di diploma a Monaco. Questa volta avevo paura di quella musica e dell'incontro con persone nuove. Nella mia cattiva condizione non sentivo di possedere i requisiti sufficienti per una simile serata ed ero pertanto felice di vedere che il cerchio dei visitatori fosse decisamente ristretto. Una delle giovani ascoltatrici, che per la prima volta si trovava a casa Bucking, fu subito in grado nella nostra prima conversazione di colmare la distanza nella quale ero finito in quei giorni strani. Sentivo la realtà procedere di nuovo più vicina e la lenta esecuzione del trio divenne per me già una continuazione della chiacchierata con quella ascoltatrice. Ci sposammo alcuni mesi dopo: Elisabeth Schumacher divise con me con grande coraggio tutte le difficoltà e i pericoli negli anni a venire. Così fu decretato un nuovo inizio e noi potemmo di conseguenza prepararci a superare insieme l'imminente tempesta.



Heisenberg e la moglie Elisabeth Schumacher

Nell'estate del 1937 finii per poco tempo in un pericoloso contesto politico. Questa fu una prima sfida, che deve però essere qui ignorata, molti miei amici allora dovettero sopportare di peggio.

Hans Euler era un ospite regolare della nostra casa. Discutevamo spesso insieme dei problemi politici che stavano emergendo. Egli era stato una volta invitato a partecipare ad un raduno di docenti e assistenti nazionalsocialisti che doveva essere tenuto per alcuni giorni in una piccola località dei dintorni. Io gli consigliai di visitare quel campo per non mettere in pericolo il suo posto di assistente e gli parlai del capo della *Hitlerjugend*¹⁹, che una volta si era confidato con me e che là probabilmente avrebbe incontrato. Con lui sarebbe forse emerso un bel confronto.

Quando Euler tornò era scosso e inquieto e ci raccontò in maniera dettagliata ciò che aveva vissuto.

“La composizione umana di un campo simile è certamente molto memorabile. Chiaramente molti partecipano poiché essendo un'esplicita richiesta non si vuole compromettere la propria posizione, così come del resto ho fatto anche io. Con la maggior parte di loro non ho potuto fare

¹⁹ Gioventù hitleriana.

molto, però poi c'era un ristretto gruppo di giovani uomini, ai quali appartiene anche il vostro *Hitlerjugendführer*²⁰, che credono veramente negli ideali del nazionalsocialismo e credono che da ciò possa nascere qualcosa di positivo. Ora so quanto c'è di spaventoso in questo movimento e quanto male ne verrà per la Germania. Però sento al contempo che alcuni di questi giovani nazionalsocialisti vogliono qualcosa di simile a ciò che voglio io. Anche loro ritengono che l'irrigidimento della società borghese sia inaccettabile, un tipo di società nella quale l'agiatezza materiale e il riconoscimento esterno dovrebbero essere il più importante metro di misura. Loro vorrebbero sostituire questa forma diventata vuota con qualcosa di più pieno, qualcosa di più vivo. Vogliono progettare le relazioni tra le persone in maniera più umana, e ciò lo voglio pure io in fondo. Non riesco ancora a concepire come da tale obiettivo debba seguire tanta disumanità. Io vedo solo che ciò accade. Così mi nascono dei dubbi, che confondono la mia intera visione. Io ho a lungo sperato che il movimento comunista si mettesse in mezzo. Se la sorte avesse agito così, la distribuzione della fortuna e della sfortuna sarebbe stata certamente differente, e noi avremmo meglio fatto molte cose. Ma non lo so se il complesso quantico di disumanità sarebbe stato minore. La buona volontà della gioventù non basta apparentemente più. Entrano poi forze più potenti in gioco che non possono più essere controllate. D'altronde la risposta corretta non può certamente essere che bisogna conservare il vecchio, nonostante ne sia rimasta una forma vuota. Ciò non sarebbe neanche possibile. Cosa dobbiamo dunque sperare e cosa possiamo ancora fare?"

“Si dovrà semplicemente aspettare” - risposi io - “fino a quando non si potrà nuovamente fare qualcosa. Fino a quel momento si deve mantenere l'ordine nelle piccole aree, nelle quali ci si trova a vivere”.

Nell'estate del 1938 le nuvole temporalesche della politica internazionale si ammassarono tutte assieme già così minacciose, che iniziarono a oscurare anche il mio nuovo contesto familiare. Dovetti prestare servizio militare nel corpo dei *Gebirgsjäger*²¹ a Sonthofen per due mesi, e fummo più volte pronti con tutte le armi per essere spediti alla frontiera ceca.²² Ma le nuvole si ritrassero ancora una volta ed io mi convinsi che potesse trattarsi solo di una piccola proroga.

Verso la fine dell'anno accadde ancora nella nostra scienza qualcosa di completamente inatteso. Ad uno dei nostri seminari del martedì di Lipsia venne Carl Friedrich²³ da Berlino con la notizia che

²⁰ *Capo della Gioventù hitleriana.*

²¹ Corpo dei “cacciatori di montagna”.

²² Dopo l'annessione dell'Austria da parte della Germania nazista il successivo obiettivo di A. Hitler fu quella della Cecoslovacchia. Hitler come pretesto utilizzò le privazioni patite dalla popolazione tedesca delle regioni di confine con la Cecoslovacchia, cosiddetti “tedeschi dei Sudeti”. Per evitare la prospettiva di una nuova guerra europea il 29-30 settembre 1938 Regno Unito, Francia, Italia e Germania istituirono la Conferenza di Monaco, nella quale la Cecoslovacchia (non presente alla Conferenza) fu costretta a cedere i Sudeti alla Germania. La loro incorporazione all'interno della Germania avrebbe lasciato il resto della Cecoslovacchia senza alcuna possibilità di resistenza alla successiva occupazione.

²³ Carl Friedrich von Weizsäcker.

Otto Hahn aveva trovato il bario fra i prodotti derivati dal bombardamento dell'atomo di uranio con i neutroni. Ciò significava che il nucleo dell'atomo di uranio era stato diviso in due grandi parti, e iniziammo naturalmente subito a discutere la questione, se un tale processo, per ciò che noi sapevamo sui nuclei atomici, fosse comprensibile. Noi avevamo per molto tempo confrontato il nucleo dell'atomo con una 'goccia' di fluido di protoni e neutroni e Carl Friedrich aveva già stimato da anni l'energia dei volumi, la tensione di superficie e il rigetto elettrostatico all'interno della goccia tramite i dati empirici. Ora, con nostra sorpresa, si era scoperto che il così inaspettato processo di fissione nucleare era in realtà del tutto plausibile. Nel caso di nuclei atomici molto pesanti il metodo di fissione era un processo che poteva svolgersi autonomamente sotto rilascio di energia, in cui era necessario solo un piccolo impulso dall'esterno, per metterlo in moto. Un neutrone sparato contro il nucleo dell'atomo può quindi causarne la fissione. Sembrava quasi strano che non si fosse pensato già prima a questa possibilità. Questa considerazione condusse però anche ad un'altra conseguenza molto stimolante. Entrambe le parti del nucleo scisso immediatamente dopo la divisione non erano certamente un prodotto sferico, ma contenevano energia in eccesso, che successivamente poteva produrre una certa evaporazione, cioè il rilascio di alcuni neutroni dalla superficie. Forse questi neutroni potevano ulteriormente andare a finire su altri nuclei di uranio, indurre ancora una scissione e così alla fine mettere in moto una reazione a catena. Naturalmente c'era ancora molto da sperimentare, prima di poter considerare tali fantasie come vera fisica. Però già l'ampia gamma di possibilità a noi appariva affascinante e al tempo stesso spaventosa. Un anno dopo dovvemmo confrontarci direttamente con la questione dell'utilizzo tecnico dell'energia dell'atomo nei macchinari o nelle armi atomiche.



Otto Hahn e Lise Meitner

Quando una nave deve entrare in un uragano prima vengono serrati i boccaporti, le corde vengono tese e tutte le parti mobili vengono fissate o avvitate ben salde per poter incontrare le tempeste con il più alto grado di sicurezza possibile. Così cercai nella primavera del 1939 una casa rurale in montagna per la mia famiglia nella quale mia moglie e i bambini sarebbero potuti fuggire se fossero state distrutte le città. La trovai a Urfeld, sul versante Sud del lago Walchen, circa cento metri più in quota di quella strada nella quale a suo tempo io, Wolfgang Pauli²⁴ e Otto Laporte²⁵ da giovani avevamo

²⁴ **Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958)**, fisico austriaco, ipotizzò l'esistenza di una particella subatomica senza carica, inserita da Fermi nella sua teoria sul decadimento nel 1934 e osservata sperimentalmente nel 1956. Fu uno dei padri della meccanica quantistica, e suo fu il 'principio di esclusione' per il quale vinse il premio Nobel per la fisica nel 1945.

discusso sulla teoria quantistica durante un giro in bici con vista sul Karwendel. La casa era stata di proprietà del pittore Lovis Corinth e io conoscevo già la vista dalla terrazza dei paesaggi del lago Walchen in cui mi ero occasionalmente imbattuto durante le mostre.

Prima della guerra doveva tuttavia succedere qualcosa di diverso. Avevo molti amici in America e sentivo il bisogno di vederli ancora una volta. Non si sapeva infatti se ci si sarebbe potuti incontrare dopo. Sperando di poter contribuire alla ricostruzione dopo la catastrofe, contavo anche sul loro aiuto.

Nei mesi estivi dell'anno 1939 tenni quindi delle conferenze alle università di Ann Arbor e di Chicago. In questa occasione incontrai Fermi²⁶, con il quale avevo partecipato a suo tempo, come studente, ai seminari di Born²⁷ a Göttingen. Fermi era stato poi per molti anni la testa di punta della fisica italiana, ma poi a causa dell'imminente catastrofe politica fu costretto ad emigrare in America. Quando lo andai a trovare nel suo appartamento, mi chiese se non fosse meglio che anche io mi trasferissi lì.

“Cosa vuole ancora in Germania? Non può evitare la guerra, Lei dovrà fare cose e rendersi corresponsabile di cose che non vuole fare e di cui non vuole essere responsabile. Se Lei, grazie al fatto che collabora con tutta quella miseria là fuori potesse ottenere qualcosa di buono, capirei il suo atteggiamento. Ma la probabilità che questo accada è talmente poca che scompare. Qui però Lei potrebbe ricominciare. Vede, tutto il Paese qui è stato costruito da europei che sono fuggiti dalla loro patria perché là non volevano più sopportare la ristrettezza delle relazioni, il continuo dissidio e le dispute delle piccole nazioni, l'oppressione, la liberazione e le rivoluzioni e tutto il dolore che ne deriva. Perché loro hanno voluto vivere qui, in un Paese diverso e libero, senza tutta la zavorra del passato storico. In Italia sono stato un grande uomo, ma qui sono di nuovo un giovane fisico e questo è proprio impagabilmente molto più bello. Perché non vuole gettare tutta la zavorra e ricominciare di nuovo? Qui potrebbe fare della buona fisica e prendere parte al grande slancio delle scienze naturali in questo Paese. Perché vuole rinunciare a questa fortuna?”

²⁵ **Otto Laporte (1902-1971)**, fisico tedesco naturalizzato statunitense, durante i suoi studi sullo spettro del ferro scoprì e formalizzò il principio ora noto come 'regola di Laporte'. Notevoli furono i suoi contributi alla meccanica quantistica, alla spettroscopia e alla fluidodinamica.

²⁶ **Enrico Fermi (1901-1954)**, uno dei più grandi fisici del XX secolo grazie al suo ruolo fondamentale nello sviluppo della fisica teorica e nucleare. e nella. Dopo aver diretto in Italia il famoso gruppo di fisici denominato “i ragazzi di Via Panisperna”, emigrò negli Stati Uniti, dove partecipò alla costruzione del primo reattore nucleare a fissione e al Progetto Manhattan. Nel 1938, vinse il premio Nobel per la Fisica.

²⁷ **Max Born (1882-1970)**, fisico teorico tedesco; lavorò con Heisenberg e Jordan per la formulazione della meccanica delle matrici. Grazie alla collaborazione con Einstein nell'ambito della fisica atomica e molecolare vinse nel 1954 il premio Nobel.



Enrico Fermi e Heisenberg

“Io posso comprendere molto bene quello che Lei dice e mi sono detto la stessa cosa migliaia di volte: la possibilità di arrivare in questo spazio ampio dalla ristrettezza dell'Europa è stata la mia costante tentazione da quando sono stato qui per una visita dieci anni fa. Probabilmente avrei dovuto emigrare allora. Però, poi, ho deciso di radunare una cerchia di giovani intorno a me che volessero lavorare sui nuovi elementi della scienza e che anche dopo la guerra, insieme, potranno fare in modo che ci sia di nuovo una buona scienza in Germania. Avrei la sensazione di commettere un tradimento, se adesso abbandonassi questi giovani. I giovani possono di certo emigrare con più difficoltà di noi. Non troverebbero così facilmente un impiego e non mi sembrerebbe giusto approfittare di questo. Io ho ancora la speranza che anche la guerra non duri poi molto. Già durante la crisi dello scorso autunno, quando ero arruolato come soldato, ho visto che quasi nessuno vuole la guerra. E se la totale falsità della cosiddetta politica di pace del *Führer* diventerà chiara, io potrei pensare che il popolo tedesco ci ripenserebbe subito e si libererebbe di Hitler e dei suoi alleati. Ma ammetto che anche questo non si può sapere”.

“C'è un altro problema”, proseguì Fermi, “che Lei dovrebbe considerare. Lei sa che il processo di fissione del nucleo atomico che Otto Hahn ha scoperto, forse può essere usato per una reazione a catena. Bisogna quindi fare i conti con la possibilità, che questo poi si traduca in un'applicazione tecnica dell'energia atomica nelle macchine o nelle bombe atomiche. Questo sviluppo tecnico probabilmente verrà sostenuto rapidamente da entrambe le parti in una guerra. I fisici nucleari verranno incoraggiati dal governo del Paese in cui vivono, per prendere parte a questo progetto.”

“Questo naturalmente è un pericolo terribile “, devo aver risposto, “e vedo bene che cose del genere possono accadere. Purtroppo Lei ha ragione anche su quanto detto riguardo all'azione e alla corresponsabilità. Ma si è protetti da ciò, se si emigra? Al momento io ho la netta sensazione che l'evoluzione di questo studio sarà ancora molto lento, anche se i governi vorranno esercitarlo con maggior fretta; quindi la guerra finirà, prima che l'energia atomica possa trovare un'applicazione pratica. Anche adesso ammetto di non conoscere il futuro. Ma gli sviluppi tecnologici nella norma durano diversi anni e sicuramente la guerra sarà giunta al termine prima di allora”.

“Lei non pensa che sia possibile che Hitler vinca la guerra?” chiese Fermi.

“No, le guerre moderne si combattono tramite la tecnica; e dato che la politica di Hitler ha isolato la Germania da tutte le altre grandi nazioni, il potenziale della tecnica tedesca è senza dubbio molto inferiore a quello di cui dispongono i possibili nemici. Questa situazione è talmente evidente, che talvolta oso persino sperare che, conoscendo lo stato delle cose, Hitler non si prenderà il rischio di una guerra. Ma questo è perlopiù un desiderio. Poiché Hitler reagisce irrazionalmente e non vuole guardare in faccia la realtà.”

“E ciò nonostante Lei vuole tornare in Germania?”

“Non so questa domanda sia effettivamente opportuna. Credo che si debba essere coerenti nelle proprie decisioni. Ognuno di noi è nato in un determinato ambiente, in un determinato spazio di lingua e pensiero, e se non ci si è separati molto presto da quell’ambiente, è in quello spazio che si crescerà al meglio e si potrà anche agire meglio. Adesso, secondo l’esperienza della storia, ogni Paese prima o poi è afflitto da rivoluzioni e guerre, e apparentemente non può ancora essere un consiglio razionale quello di emigrare prima. Non possono emigrare tutti. Le persone devono quindi imparare a prevenire quanto più possibile le catastrofi e non semplicemente a fuggire da esse. Si vorrebbe anzi quasi chiedere, al contrario, che ognuno si faccia carico delle catastrofi nel proprio Paese, in quanto questa richiesta sarebbe un ulteriore incentivo a fare ogni sforzo in anticipo per prevenire la catastrofe. Naturalmente una simile richiesta risulterebbe anche irragionevole. Infatti spesso il singolo, anche con il suo più grande sforzo, non può fare niente per impedire alla grande massa di persone di intraprendere una via del tutto sbagliata, e non si può pretendere che, non riuscendo a fermare gli altri, egli rinunci alla propria salvezza. Voglio solo dire che ovviamente non esistono criteri generali sui quali ci si possa orientare. Occorre prendere la decisione per proprio conto e non si saprà mai se si è agito bene o male. Probabilmente si agisce in entrambi i modi. Diversi anni fa ho deciso di rimanere in Germania - forse è stata una decisione sbagliata, ma non credo di doverla cambiare proprio ora. Dato che al tempo già sapevo che ci sarebbero state grandi ingiustizie e infelicità, pertanto i presupposti per la decisione non sono ora per nulla cambiati.”

“Peccato” disse Fermi, “ma forse ci rivedremo dopo la guerra.”

Prima di lasciare New York, ebbi una conversazione simile con Pegram²⁸, il fisico sperimentale della Columbia University, più anziano ed esperto di me e i cui consigli significavano molto per me. Gli fui grato per l’affetto con cui mi consigliò di emigrare in America, ma fui anche scontento di non essere riuscito a spiegare le mie motivazioni. Egli trovava semplicemente incomprensibile che qualcuno volesse tornare in un Paese, della cui sconfitta nella imminente guerra era convinto.

²⁸ **George B. Pegram (1876-1958)**, fisico americano. Conseguì il dottorato nel 1903 alla Columbia University, divenne professore ordinario nel 1918 e presidente del Dipartimento di Fisica dal 1913 al 1945. Eseguì molte misurazioni sulle proprietà dei neutroni con John R. Dunning. Collaborò con Enrico Fermi al progetto Manhattan.

La nave 'Europa', con cui tornai in Germania all'inizio dell'agosto 1939, era quasi vuota, e questo vuoto sottolineava gli argomenti che Fermi e Pegram avevano usato contro di me.

Nella seconda metà di quello stesso agosto arredammo la nostra casa di campagna appena acquistata a Urfeld. La mattina del 1° settembre, quando scesi dalla nostra collina all'ufficio postale per ritirare le lettere, il proprietario dell'Hotel *Zur Post* mi si avvicinò e mi disse: "Ha già saputo che è scoppiata la guerra contro la Polonia?", e quando vide la mia faccia inorridita, aggiunse in modo confortante: "Ma, signor professore, in tre settimane la guerra sarà finita."

Pochi giorni dopo ricevetti un ordine di presentazione secondo il quale, contrariamente alle aspettative, non mi avevano assegnato alle truppe di montagna, con le quali avevo prestato servizio, ma ero stato inviato all'Agenzia per gli Armamenti dell'esercito a Berlino. Lì appresi, che dovevo lavorare con un gruppo di altri fisici sulla questione dell'utilizzo tecnico dell'energia atomica. Carl Friedrich aveva ricevuto un simile precetto di convocazione e così avvenne che nel periodo successivo a Berlino avemmo spesso l'opportunità di considerare e discutere la situazione che per noi si era creata. Io proverò a riassumere in unico testo le nostre molteplici riflessioni e considerazioni.



Heisenberg e Carl Friedrich von Weizsäcker

"Quindi sei anche tu nella nostra *Uranverein*²⁹", così credo di aver aperto la conversazione "e allora sicuramente avrai pensato molto a che cosa fare con il compito che ci è stato assegnato. Innanzitutto si tratta di una fisica molto interessante e, se ci fosse la pace e nient'altro avesse importanza, saremmo tutti felici di collaborare su una questione di tale portata. Ma ora c'è la guerra e tutto ciò che facciamo può portare a gravi pericoli per noi o per gli altri. Dobbiamo quindi riflettere attentamente su quello che stiamo facendo."

"Probabilmente hai ragione su questo e ho già pensato alla possibilità di sottrarmi, in qualche modo, a questo incarico. Magari sarebbe possibile offrirsi volontari per il fronte senza troppe difficoltà, forse si potrebbe anche collaborare ad altri sviluppi tecnologici meno pericolosi. Ma in realtà sono giunto alla conclusione che dovremmo continuare a lavorare sul problema dell'uranio, proprio perché è

²⁹ Compagnia dell'uranio.

un progetto dalle possibilità così estreme. Se lo sfruttamento tecnico dell'energia atomica è ancora lontano, non c'è nulla di male ad occuparsene. Quindi questo progetto ci dà anche l'opportunità di traghettare in modo relativamente sicuro attraverso la guerra i più brillanti tra i giovani reclutati nella fisica nucleare nell'ultimo decennio. Ma se la tecnologia nucleare è, per così dire, imminente, è meglio poter influire sugli sviluppi piuttosto che lasciarli ad altri o al caso. Naturalmente non si sa per quanto tempo, in qualità di scienziati, si potrebbe mantenere un tale sviluppo nelle proprie mani. Ma potrebbe esserci una lunga fase intermedia in cui i fisici esercitano effettivamente il controllo su ciò che accade.”

“Una cosa del genere sarebbe possibile” risposi, “solo se si potesse instaurare un rapporto di fiducia tra gli uffici dell’Agenzia degli Armamenti e noi. Ma tu sai che solo un anno fa sono stato interrogato più volte dalla *Gestapo*³⁰, e non mi piace ricordare il seminterrato della Prinz-Albrecht-Straße, dove le parole ‘Respira profondamente e con calma’ erano scritte sul muro a caratteri cubitali. Quindi non riesco ad immaginare un rapporto di fiducia di questo tipo”.

“La fiducia non si instaura mai tra luoghi, ma sempre solo tra persone. Perché nell’Agenzia degli Armamenti non dovrebbero esserci persone che ci incontrano senza pregiudizi e che sono disposte a consultarci in merito a cosa sarebbe ragionevole fare? Dopo tutto, questo è il nostro interesse comune.”

“Forse, ma questo è un gioco molto pericoloso”.

“Ci sono molti gradi diversi di fiducia. I gradi che sono possibili in questo caso, sono forse sufficienti per evitare sviluppi troppo irragionevoli. Ma cosa pensi in realtà della fisica del nostro problema?”.

Cercai di trattare con Carl Friedrich i risultati delle indagini teoriche e preliminari, che avevo fatto nelle prime settimane di guerra e che potevano essere considerate solo una visione panoramica del problema.

“A quanto pare, con l'uranio che si trova in natura non dovrebbe essere possibile innescare una reazione a catena con neutroni veloci, in questo caso non si potrebbero nemmeno creare bombe nucleari. È una grande fortuna. Per una tale reazione a catena sarebbe necessario solo uranio 235 puro o almeno un uranio 235 fortemente arricchito, ma per ottenerlo, sempre che sia possibile, sarebbe necessario un enorme sforzo tecnico. Potrebbero esistere anche altre sostanze simili, che però sono altrettanto difficili da ottenere. Non ci saranno bombe nucleari di questo tipo nel prossimo futuro, né da parte degli inglesi e degli americani, né da parte nostra. Ma se si combina l'uranio naturale con una sostanza frenante, che rallenta rapidamente tutti i neutroni rilasciati nel processo di fissione, cioè alla velocità del movimento termico, allora forse si potrebbe mettere in moto una reazione a catena che fornisce energia in modo controllabile. Tuttavia questa sostanza frenante non deve, ovviamente, catturare i neutroni. È necessario utilizzare sostanze con un assorbimento neutronico molto basso.

³⁰ *Geheime Staatspolizei* : *Polizia Segreta di Stato*. Si tratta della polizia segreta della Germania nazista il cui compito era quello di investigare ed eliminare tutte le tendenze che fossero risultate pericolose per lo Stato. Le azioni della Gestapo non erano limitate dalla legge o soggette a revisione giudiziaria. Inoltre essa deteneva il potere di arrestare chiunque senza alcun processo giudiziario.

L'acqua comune non sarà quindi adatta. Ma forse è adatta l'acqua pesante o il carbonio quasi del tutto puro, ad esempio sotto forma di grafite. Ciò dovrà essere verificato sperimentalmente nel prossimo futuro. Credo che si possa, in buona coscienza, anche nei confronti delle autorità committenti, concentrarsi sulla reazione a catena in un bruciatore di uranio e lasciare ad altri la questione dell'estrazione dell'uranio. Perché questa separazione isotopica, se riuscirà, darà risultati tecnicamente rilevanti solo dopo molto tempo.”

“Quindi tu crederesti, che il dispendio tecnico, per un qualche bruciatore di uranio, sempre che possa essere costruito, sarebbe decisamente inferiore a quello per la bomba atomica?”

“Questo mi sembra assolutamente certo. La separazione di due pesanti isotopi consecutivi, come l'uranio 235 e l'uranio 238, così vicini nella massa, per di più in quantità almeno di qualche chilogrammo di uranio 235 - questo è tuttavia un orrendo problema tecnico. Per il bruciatore di uranio, tuttavia, si tratta forse solo della produzione di uranio naturale, chimicamente molto puro, grafite e acqua pesante, nell'ordine di grandezza di alcune tonnellate. Allora il dispendio potrebbe essere pure leggermente inferiore di un fattore 100 o 1000. Trovo quindi che sia il vostro *Kaiser-Wilhelm-Institut*³¹ di Berlino sia il nostro gruppo di lavoro di Lipsia dovrebbero limitarsi per il momento allo studio preparatorio sul reattore a uranio. Naturalmente, anche noi dobbiamo lavorare a stretto contatto.”

“Quello che dici, mi appare chiaro e suona molto rassicurante”, rispose Carl Friedrich, “specialmente, perché gli esperimenti relativi al bruciatore di uranio anche per il periodo successivo alla guerra diventano utili. Se mai ci sarà una tecnologia atomica pacifica, questa dovrà partire per forza dal bruciatore di uranio da utilizzare come elemento che fornisce energia nelle centrali elettriche, per la propulsione della nave e scopi simili. Gli esiti del nostro lavoro svolto durante la guerra potrebbero forse portare anche alla formazione di una giovane squadra, che si intende di tecnica atomica e che potrebbe formare una cellula germinale per uno sviluppo tecnico successivo.

Se vogliamo seguire questa linea, sarà importante già adesso, durante i negoziati con l'ufficio dell'Agenzia degli Armamenti, parlare solo raramente e solo incidentalmente della possibilità della bomba atomica. Naturalmente dobbiamo anche tenere costantemente d'occhio questa possibilità, proprio per non essere impreparati a ciò che casomai farà l'altra parte. A proposito, trovo comunque plausibile dal punto di vista storico che le sorti di questa guerra potrebbero essere decise dall'invenzione delle bombe atomiche. Tale conflitto è guidato tanto da forze irrazionali, dalle speranze utopiche della gioventù e dal risentimento maligno di una generazione di anziani, che la determinazione della vittoria dovuta alla bomba atomica contribuirebbe ancora meno alla soluzione dei problemi di una resa dettata dalla consapevolezza o dallo sfinimento. Ma il tempo dopo la guerra potrebbe essere condizionato dalla tecnologia atomica e da altri progressi tecnici.”

³¹ Istituto *Imperatore Wilhelm*.

“Tu non conti quindi sulla possibilità che Hitler possa vincere la sua guerra?” chiesi io di ritorno.

“Detto sinceramente, riguardo ciò ho sentimenti molto controversi. Le persone politicamente in grado di giudicare, che io conosco bene, per primo mio padre, non credono che Hitler possa vincere la guerra. Egli ha sempre pensato che Hitler fosse uno sciocco e un criminale, con il quale ci può essere solo una brutta fine; in questa convinzione non è mai stato titubante. Ma se questa fosse tutta la verità, finora i successi di Hitler sarebbero incomprensibili. Uno stupido criminale non mette in piedi qualcosa del genere. Dal 1933 penso che questi esperti critici di Hitler, liberali e conservatori, non abbiano affatto capito niente di decisivo su di lui, il motivo del potere psicologico che esercita sulle persone. Ma non lo capisco neanche io, percepisco solo questo potere. Ha così spesso ribaltato le previsioni con le bugie dei suoi successi! Forse sarà in grado di fare questo ancora una volta.”

“No”, ho risposto, “in ogni caso no, quando la questione del potere viene giocata fino alla fine. Infatti il potenziale tecnico-militare della parte anglo-americana è incomparabilmente molto più grande di quello tedesco. Si potrebbe pensare al massimo alla possibilità che l'altra parte per motivi politici che riguardano un futuro lontano, davanti a ciò, esiti a creare un vuoto di potere nell'Europa centrale. Ma la crudeltà del sistema nazionalsocialista, in particolare sulla questione della razza, impedirà con grande probabilità tale esito. Quanto in fretta finirà la guerra, naturalmente non lo sa nessuno. Forse sottovaluto la forza di resistenza dell'apparato di potere costruito da Hitler. Ma in ogni caso dobbiamo pensare soprattutto al dopoguerra, ed è quello che stiamo facendo ora.”

“Potresti avere ragione”, disse Carl Friedrich infine.

“Può essere che qui io cada segretamente in un desiderio. Per quanto poco possiamo desiderare la vittoria di Hitler, non possiamo sognare la completa sconfitta del nostro Paese per tutte le sue terribili conseguenze. Naturalmente non otterremo una pace di compromesso con Hitler. In ogni caso però dovremo preparare la ricostruzione dopo la guerra, questo è certo.”

I lavori sperimentali ricominciarono relativamente presto a Lipsia e a Berlino. Ero principalmente coinvolto nelle misurazioni delle proprietà dell'acqua pesante, che Döpel³² aveva preparato con grande cura a Lipsia, ma andai anche spesso a Berlino per seguire le indagini al *Kaiser-Wilhelm-Institut* per la fisica di Dahlem, dove erano coinvolti vari dei miei ex dipendenti e amici tranne Carl Friedrich, soprattutto Karl Wirtz³³.

Fu una grande delusione per me non poter coinvolgere Hans Euler a Lipsia per la sua

³² **Georg Robert Döpel (1895–1982)**, fisico nucleare sperimentale tedesco. Fu particolarmente conosciuto per la ricerca sul potenziale di una reazione nucleare prolungata. Lavorò con Heisenberg all'Università di Lipsia e condusse esperimenti sugli strati sferici di ossido di uranio circondati da acqua pesante. Nel 1945 lavorò sul progetto della bomba atomica in Unione Sovietica.

³³ **Karl Wirtz (1910–1994)**, fisico nucleare tedesco. Nel 1937 iniziò a collaborare col *Kaiser Wilhelm Institut für Physik* e nel 1940 lavorò alla progettazione di un reattore a strato orizzontale con Fritz Bopp ed Erich Fischer. Divenne in seguito professore ordinario di 'fondamenti fisici della tecnologia dei reattori' presso la *Technische Hochschule* di Karlsruhe e direttore dell'Istituto di fisica presso il Centro per la Ricerca Nucleare, nonché presidente del consiglio scientifico dello stesso Centro.

collaborazione al Progetto Uranio. Le ragioni di questo devono certamente essere descritte in modo un po' più dettagliato. Nei mesi precedenti allo scoppio della guerra, durante i quali mi trovavo in America, Euler aveva instaurato una stretta amicizia con uno dei miei dottorandi, il finlandese Grönblom. Questi era un giovane dall'aspetto insolitamente sano e forte, con un bel colorito, pieno di ottimismo, convinto che il mondo alla fine fosse buono e che lui potesse fare qualcosa di buono in esso. Come figlio di un grande industriale finlandese, forse all'inizio fu sorpreso di conoscere un comunista convinto con il quale poteva andare così d'accordo. Ma poiché le qualità umane erano molto più importanti per lui delle opinioni o delle convinzioni, fin dall'inizio accettò Euler così come era, con tutta l'imparzialità e la franchezza che è possibile per i giovani. Quando scoppiò la guerra per Euler fu un colpo difficile, poiché la Russia comunista si era accordata con Hitler per dividersi la Polonia. Un mese dopo, quando le truppe russe sbarcarono in Finlandia, anche Grönblom fu convocato nel suo reggimento e dovette lottare per la libertà del suo Paese. Questo avvenimento cambiò Euler profondamente. Parlava poco, e io avvertii che lui non si era allontanato solo da me, bensì anche dagli altri amici, in realtà dall'intero mondo.

Fino ad allora non era stato chiamato per il servizio militare, probabilmente a causa della sua salute cagionevole. Io però ero preoccupato che questo potesse ancora accadere e un giorno gli chiesi se potevo provare a reclutarlo per lavorare sul problema dell'uranio. Con mia grande sorpresa, mi annunciò che si era arruolato come volontario nell'aviazione. Poiché doveva essersi reso conto di quanto fossi turbato, iniziò ad espormi dettagliatamente le sue ragioni.

“Loro sanno che non ho fatto questo con il fine di lottare per la vittoria. Primo, non credo a questa possibilità e secondo una vittoria della Germania nazionalsocialista sarebbe per me terribile, tanto quanto una vittoria dei russi sui finlandesi.



Hans Euler

Il cinismo sfrenato con cui coloro che detengono il potere agiscono contro tutti i principi che hanno propagandato ai loro popoli solo per avere un'opportunità non mi lascia più speranza.

Naturalmente non mi sono arruolato in un corpo militare in cui devo uccidere altre persone. Con gli aerei da ricognizione con cui voglio prestare servizio, potrei essere abbattuto io stesso, ma non dovrò sparare o sganciare bombe. Da questo punto di vista, è tutto a posto. Ma in questo mare di assurdità, non so a cosa potrebbe essere utile se lavoro qui allo sfruttamento dell'energia nucleare.”

“Noi non possiamo cambiare niente della catastrofe che sta avvenendo ora”, dissi, “né Lei, né io. Ma poi la vita riprenderà, qui e in Russia e in America, ovunque. Fino ad allora molte persone moriranno, abili e incapaci, colpevoli e innocenti, ma i sopravvissuti dovranno cercare di costruire un mondo migliore. Questo non sarà particolarmente buono e ci si renderà conto che la guerra non avrà risolto quasi nessuno dei problemi. Però si potranno evitare alcuni errori e fare meglio alcune cose. Perché non vuole esserci?”

“Non rimprovero nessuno che si assuma un compito del genere. Coloro che erano già pronti ad accettare la precarietà della situazione e che hanno sempre preferito i piccoli passi verso il miglioramento alla rivoluzione su larga scala, vedranno confermata la loro rassegnazione. E dopo la guerra riprenderanno a fare quei piccoli e faticosi passi che, a lungo andare, forse miglioreranno le cose più di tutte le rivoluzioni. Ma per me è diverso. Avevo sperato che l'ideologia comunista potesse rinnovare radicalmente la convivenza umana. Per questo motivo non voglio che per me sia più facile di quanto lo sia per i tanti innocenti che vengono sacrificati sui fronti, in Polonia, in Finlandia o altrove. Qui a Lipsia vedo che nell'istituto sono state esonerate dal servizio militare quelle persone che portano il distintivo del partito nazionalsocialista e che quindi sono un po' più colpevoli degli altri per la guerra. Trovo questo pensiero abbastanza intollerabile e vorrei rimanere fedele alle mie speranze, almeno per quanto mi riguarda. Chi vuole trasformare il mondo in un crogiolo, deve anche essere pronto a gettarsi nel crogiolo. Lei deve capirlo”.

“Sì, qui la capisco molto bene. Ma per rimanere sull'immagine del crogiolo: non si deve sperare che la massa fusa, una volta solidificata, assuma proprio le forme che si sono desiderate. Questo poiché le forze, che sono determinanti per la solidificazione, provengono dai desideri di tutte le persone, non solo dai propri.”

“Se avessi ancora speranze, agirei però diversamente. Ma sento l'assurdità di quanto accade così da non trovare il coraggio per il futuro. Ma troverei bello se lei lo facesse.”

Non riuscii a far cambiare idea a Euler. Presto andò a Vienna per l'addestramento, e le sue lettere, che all'inizio erano ancora appesantite quanto la nostra conversazione, divennero più libere e sciolte nel corso dei mesi. Lo incontrai di nuovo a Vienna, dove dovevo tenere un discorso. Euler mi invitò a bere un bicchiere in un'osteria che si trovava sull'altura dietro Grinzing.

Lui non voleva parlare della guerra. Mentre guardavamo giù sulla città, improvvisamente un aereo volò a pochi metri sopra di noi. Euler rise, era un aereo della sua squadra che voleva porgerci i saluti. Alla fine del maggio 1941 Euler mi scrisse ancora una volta dal Sud. La squadra aveva l'incarico

di compiere voli di ricognizione dalla Grecia su Creta e sull'Egeo. La lettera era stata scritta con un'allegria libera che vedeva solo il presente, non più il passato o il futuro:

“Dopo quattordici giorni in Grecia, abbiamo quasi dimenticato tutto quello che c'è al di là di questo magnifico Sud. Non sappiamo più nemmeno il giorno della settimana. Abitiamo in alcune ville sulla baia di Eleusi, e se non pensiamo ad altro, è una vita meravigliosa tra le onde blu e il sole. Abbiamo già acquistato una barca a vela e ci divertiamo molto con i nostri giri, durante i quali prendiamo carne e arance. Ci auguriamo di rimanere sempre qui. Solo poco tempo è rimasto per sognare tra le antiche colonne di marmo, ma qui sotto le montagne e presso le onde è appena percettibile la differenza tra passato e presente.”

Mentre riflettevo su quali cambiamenti si erano verificati in Euler, i miei pensieri camminarono indietro alla mia conversazione con Niels³⁴ sull'Öresund, e dalla poesia di Schiller³⁵, che Niels mi aveva citato allora, mi venne in mente la strofa:

*Le paure della vita, lui le getta via,
Non ha più da temere, da pensare
Lui cavalca spigliato contro il destino,
Se oggi non lo incontra, lo incontra domani,
E se lo incontra domani, oggi lasciamo stare,
Ancora beviamo alla dolcezza del tempo.*

Poche settimane dopo scoppiò la guerra con la Russia. Dopo il primo volo di ricognizione sul mare di Asow, l'aereo di Euler non fece ritorno. Da allora manca ogni traccia dell'aereo e dell'equipaggio. Anche Grönblom, l'amico di Euler, morì qualche mese dopo.

³⁴ Niels Bohr.

³⁵ da Friedrich Schiller, *Reiterlied*.



Illustrazione di Letizia Canella

Werner Karl Heisenberg

La via verso un nuovo inizio (1941-1945)

Verso la fine del 1941, all'interno del nostro *Uranverein*¹, le basi fisiche dell'utilizzo tecnico dell'energia atomica apparivano molto più chiare. Sapevamo che con uranio naturale e acqua pesante era possibile costruire un reattore nucleare per produrre energia e che in un tale reattore poteva essere ricavato un sottoprodotto dell'uranio-239 che, come l'uranio-235, sarebbe stato adatto come esplosivo per bombe atomiche. Inizialmente, cioè alla fine del 1939, si ipotizzava in via teorica che, anziché acqua pesante, si potesse usare come mezzo frenante carbonio puro. Tuttavia questa linea fu da subito abbandonata a seguito di una misurazione delle proprietà di assorbimento del carbonio effettuata in un altro istituto molto rinomato, tale misurazione sarebbe risultata più tardi troppo imprecisa, motivo per cui non la sperimentammo. Per l'estrazione dell'uranio-235 non conoscevamo a quel tempo alcun procedimento che avrebbe fornito quantità significative con uno sforzo tecnicamente realizzabile in Germania, per giunta in periodo di guerra. Dato che anche la produzione di esplosivo nucleare dai reattori poteva essere chiaramente ottenuta solo facendo funzionare per anni enormi reattori, eravamo consapevoli che la realizzazione di bombe nucleari sarebbe stata possibile solo con un intenso impegno dal punto di vista tecnico. Riassumendo si può perciò affermare che in quel periodo sapevamo che fondamentalmente si sarebbero potute realizzare delle bombe atomiche e conoscevamo anche un procedimento attendibile, tuttavia ritenevamo che lo sforzo tecnico richiesto fosse di gran lunga maggiore di quanto non lo fosse in realtà. Ci trovavamo quindi nella fortunata condizione di poter riferire al nostro governo, in tutta onestà, sullo stato della questione e sapevamo allo stesso tempo, con certezza, che in Germania la costruzione di bombe atomiche non sarebbe stata presa in seria considerazione. Data la pesante situazione bellica, il governo tedesco difficilmente avrebbe potuto accettare uno sforzo tecnico così grande per raggiungere un obiettivo di realizzazione alquanto remoto.

Nonostante ciò avevamo l'impressione di contribuire ad uno sviluppo scientifico-tecnico molto pericoloso e fu più che altro con Carl Friedrich von Weizsäcker, Karl Wirtz², Jensen³ e Houtermans⁴ che mi confrontai occasionalmente sulla questione, se fosse lecito procedere secondo quanto progettato. Mi ricordo di una conversazione che ebbi con Carl Friedrich nella mia aula dell'istituto di

¹ *Società dell'Uranio.*

² **Karl Eugen Julius Wirtz (1910-1994)**, fisico nucleare tedesco, partecipò alla ricerca sulla bomba atomica guidata da Heisenberg. Nel 1945 avevano raccolto informazioni quasi sufficienti per costruire un'arma nucleare quando fu arrestato dagli alleati assieme il suo gruppo.

³ **Johannes Hans Daniel Jensen (1907 -1973)**, fisico tedesco, durante la seconda guerra mondiale partecipò al programma tedesco per la ricerca nucleare, nel 1963 insieme a Maria Goeppert-Mayer vinse il premio Nobel per la fisica per le loro scoperte riguardanti la struttura nucleare.

⁴ **Friedrich "Fritz" Georg Houtermans (1903-1966)**, fisico sperimentale tedesco di origine ebraica, inventore del metodo di datazione isotopica della Terra. Durante il nazionalsocialismo effettuò ricerche sperimentali sull'uranio e sulla bomba all'uranio a favore dei tedeschi.

fisica *Kaiser-Wilhelm* ad Dahlem, appena dopo che Jensen ci aveva lasciati. Mi sembra che Carl Friedrich avesse iniziato con questa affermazione:

“Per il momento non siamo ancora in una zona di pericolo per quanto riguarda le bombe atomiche, perché gli sforzi tecnici necessari sembrano troppo grandi per essere presi seriamente in considerazione. Ma anche questo potrebbe cambiare nel tempo, facciamo quindi bene a continuare a lavorare qui? E cosa faranno i nostri conoscenti in America? Procederanno a tutta velocità verso la bomba atomica?”



Heisenberg e Carl Friedrich von Weizsäcker

Cercai di pensare alla loro situazione:

“La condizione psicologica per i fisici in America, in particolare per quelli emigrati dalla Germania, è completamente diversa dalla nostra. Essi devono essere convinti, d'altra parte, di lottare per la buona causa contro quella cattiva e proprio gli emigrati⁵, essendo stati accolti dall'America, si sentiranno giustamente obbligati ad impegnare tutte le loro forze per la buona causa statunitense. Ma una bomba atomica, che uccide in un colpo solo centinaia di migliaia di civili, è un'arma come un'altra? Si può applicare in questo contesto la vecchia, ma problematica regola secondo la quale: per la causa buona è lecito lottare con tutti i mezzi, mentre per quella cattiva no? Si possono dunque fabbricare bombe atomiche per una giusta causa, ma non per una cattiva? E se si opta per questo punto di vista, che purtroppo si è ripetutamente affermato nella storia del mondo, chi decide qual è la cosa buona e quale quella cattiva? Sarà abbastanza facile constatare che la motivazione di Hitler e dei nazionalsocialisti è pessima. Ma la causa americana è buona in ogni senso? Non vale anche qui la regola secondo la quale, solo dalla scelta dei mezzi si riconosce se una cosa è buona o cattiva? Certo, quasi tutte le battaglie devono essere condotte con mezzi cattivi; ma non c'è forse una differenza di grado che giustifica certi mezzi cattivi e non ne giustifica altri? Nel secolo scorso si è cercato di porre dei limiti all'utilizzo delle cattive risorse mediante i trattati. Ma nella guerra attuale tali limiti non vengono rispettati né da Hitler né dai suoi avversari. Tuttavia, oserei supporre che anche in America i fisici non si

⁵ **emigrati**: dopo la presa di potere dei nazionalsocialisti in Germania la minaccia verso gli oppositori del regime tra cui molti intellettuali divenne sempre più forte. A partire dal 1933 molti scelsero la via dell'esilio, rimanendo lontani dalla Germania per tutta la durata della dittatura.

stiano dando così tanto da fare per produrre bombe nucleari. Essi potrebbero anche essere comunque spinti dalla paura che lo facciamo noi.”

“Sarebbe bello”, rispose Carl Friedrich, “se prima o poi tu potessi parlare di tutto questo con Niels a Copenaghen. Significherebbe molto per me se Niels per esempio arrivasse alla conclusione che qui stiamo facendo qualcosa di sbagliato e che sarebbe preferibile abbandonare questo studio sull’uranio.”



La casa di Niels Bohr a Copenaghen

Nell’autunno del 1941, quando pensavamo di avere un quadro piuttosto chiaro dei possibili sviluppi tecnici, concordammo che avrei tenuto una conferenza scientifica a Copenaghen⁶ su invito dell’ambasciata tedesca. Volevo cogliere l’occasione per parlare con Niels del problema dell’uranio. Il viaggio, se ricordo bene, avvenne nell’ottobre del 1941. Visitai Niels anche nel suo appartamento a Carlsberg, ma evitai l’argomento pericoloso fino a quando, una sera, non facemmo una passeggiata nei pressi della sua abitazione. Dato che avevo paura che Niels fosse sorvegliato dalle autorità tedesche, parlai con estrema prudenza, per non poter venire in seguito inchiodato a qualche particolare dichiarazione. Cercai di accennare a Niels che in linea di principio è possibile creare delle bombe atomiche che richiedono un enorme sforzo tecnico, e che in quanto fisici, ci si dovrebbe chiedere se sia lecito lavorare a questo progetto. Purtroppo, dopo i miei primi accenni sulla effettiva possibilità di costruire bombe atomiche, Niels fu così spaventato, che non colse correttamente la parte più importante delle mie informazioni e cioè che tali processi richiedevano un enorme sforzo tecnico. Mi sembrava estremamente importante che questa situazione dovesse dare ai fisici, in una certa misura, la possibilità di decidere se la costruzione di bombe atomiche dovesse essere tentata oppure no. I fisici avrebbero potuto giustamente argomentare ai loro governi che era improbabile che le bombe atomiche entrassero in gioco con il progredire della guerra, oppure che con uno sforzo assoluto forse ci sarebbe stata la possibilità di metterle in gioco. Entrambi i punti di vista potevano essere sostenuti con la

⁶ Famoso incontro tra Bohr e Heisenberg a Copenaghen, del quale non venne mai chiarito il contenuto, ma a seguito del quale si verificò un allontanamento e forse la fine dell’amicizia tra i due scienziati.

coscienza pulita e infatti il corso della guerra dimostrò che anche in America, dove rispetto alla Germania i presupposti per il tentativo sembravano essere incomparabilmente più favorevoli, le bombe atomiche non furono pronte prima della conclusione della guerra con la Germania.

Niels, spaventato dalla seria eventualità delle bombe atomiche, non aveva tuttavia più affrontato il ragionamento citato e forse un legittimo rancore per la violenta occupazione del suo Paese da parte delle truppe tedesche lo tratteneva anche dal prendere in considerazione un confronto con i fisici oltre i confini. Fu per me molto doloroso constatare quanto completo fosse l'isolamento in cui la nostra politica aveva costretto noi tedeschi e riconoscere che la realtà della guerra era stata in grado di interrompere, quantomeno temporaneamente, decenni di relazioni umane.



Bohr e Heisenberg nel 1941 a Copenaghen

Nonostante il fallimento della mia missione di Copenaghen, la situazione per noi, ovvero per i membri dell'*Uranverein* in Germania, era in fondo piuttosto semplice. Il governo aveva deciso (nel giugno 1942) che i lavori sul progetto del reattore sarebbero proseguiti soltanto in scala ridotta. L'ordine di tentare la realizzazione delle bombe atomiche non arrivò mai. I fisici, dal canto loro, non avevano nessun motivo di aspirare ad una revisione di tale decisione. Perciò il lavoro del *Uranprojekt*⁷ fu indirizzato a sviluppare quindi una tecnica atomica pacifica per il periodo successivo alla guerra e come tale produsse ancora utili frutti, malgrado la devastazione negli ultimi anni del conflitto. Forse non è un caso che la prima centrale atomica, fornita da un'azienda tedesca all'estero, precisamente in Argentina, fosse munita di un nucleo reattore come quello che avevamo progettato durante la guerra, costituito da uranio naturale e acqua pesante.

I nostri pensieri erano dunque volti al nuovo inizio dopo la guerra. In questo contesto mi rimane impresso il ricordo particolarmente nitido di una conversazione, che per la prima volta mi portò a stretto contatto con Adolf Butenandt⁸, che all'epoca lavorava come biochimico in uno degli istituti *Kaiser Wilhelm* di Dahlem. Ci eravamo già spesso confrontati su questioni al limite tra biologia e fisica

⁷ *Progetto Uranio.*

⁸ **Adolf Friedrich Johann Butenand (1903 -1995)**, biochimico tedesco, vinse nel 1939 il premio Nobel per la chimica per i suoi studi sugli ormoni maschili e femminili. Poco chiaro fu il suo coinvolgimento con il nazionalsocialismo, per il quale lavorò con le sue ricerche per tutto il periodo bellico.

atomica durante un dibattito allora li organizzato. Tuttavia, fu solo nella notte del primo marzo 1943 che avemmo uno scambio più lungo, quando insieme dovemmo spostarci a piedi dal centro di Berlino a Dahlem in seguito ad un attacco aereo.

Avevamo partecipato ad una riunione della *Akademie für Luftfahrt*⁹ che aveva avuto luogo nell'edificio del Ministero dell'Aviazione, nei pressi della Potsdamerplatz. Schardin¹⁰ aveva tenuto una conferenza sugli effetti fisiologici delle bombe moderne e tra l'altro aveva sottolineato che la morte dovuta ad un'embolia gassosa, che può verificarsi a causa dell'improvviso aumento della pressione atmosferica quando si è nelle immediate vicinanze di pesanti detonazioni, era relativamente dolce e indolore. Verso la fine della riunione era stato lanciato l'allarme antiaereo e noi ci eravamo ritirati nel rifugio del Ministero che, arredato con letti militari e sacchi di paglia, era abbastanza comodo. Vivemmo per la prima volta un vero e pesante attacco aereo. Alcune bombe avevano colpito l'edificio del Ministero, sentivamo crollare le pareti e i soffitti e per un po' non potemmo sapere se il corridoio che collegava la nostra cantina con il mondo esterno fosse ancora percorribile in qualche modo. La luce della cantina si era spenta poco dopo l'inizio dell'attacco, la stanza era illuminata solo ogni tanto da una torcia tascabile. Ad un certo punto venne portata una donna che rantolava e fu curata d'urgenza da due paramedici. Mentre all'inizio riuscivamo ancora a parlare e ogni tanto a ridere, con i bombardamenti sempre più frequenti nelle immediate vicinanze tutto divenne più silenzioso e l'umore calò rapidamente. Dopo due pesanti detonazioni, la cui pressione atmosferica penetrò in modo molto evidente nella nostra cantina, si sentì da un angolo, all'improvviso, la voce di Otto Hahn: "Schardin, il mascalzone, che non crede più alla sua stessa teoria!" Ciò ci aiutò a ristabilire di nuovo ragionevolmente l'equilibrio mentale.

Dopo la fine dell'attacco riuscimmo ad aprire un varco attraverso un groviglio di blocchi di cemento e sbarre di ferro piegate per uscire all'esterno. Lì ci si presentò una visione fantastica. Tutta la piazza davanti al Ministero era illuminata dal rosso delle fiamme che divampando avevano raggiunto le tettoie e gli ultimi piani degli edifici circostanti. In alcuni punti il fuoco era già giunto al pianoterra e sulla strada c'erano anche singole pozzanghere infuocate, che probabilmente si erano formate dal riversamento di taniche di fosforo. La piazza pullulava di gente che voleva scappare a casa, ma era evidente che non c'erano mezzi di trasporto che avrebbero potuto arrivare nelle periferie.

Butenandt ed io avevamo trovato insieme la via d'uscita attraverso i corridoi semicrollati e decidemmo di percorrere insieme, per quanto possibile, anche la strada verso le nostre abitazioni sul Fichteberg e a Dahlem. All'inizio speravamo che l'attacco avesse colpito solo il centro della città e che i quartieri residenziali in cui vivevamo fossero stati risparmiati. Ma per quanto potevamo vedere nei chilometri davanti a noi della Potsdamer Straße, le ghirlande di fiamme si estendevano su entrambi i

⁹ *Accademia per l'Aviazione.*

¹⁰ **Hubert Hermann Reinhold Schardin (1902 – 1965)**, esperto tedesco di balistica, ingegnere e accademico, studiò nel campo della fotografia ad alta velocità e della cinematografia.

lati. In alcuni punti si vedevano anche i vigili del fuoco all'opera, ma i loro sforzi sembravano piuttosto assurdi e ridicoli.

Anche camminando in fretta, dalla Potsdamerplatz a Dahlem, dovevamo mettere in conto un percorso di un'ora e mezza o due e così ne seguì una lunga conversazione, non sulla situazione bellica, perché quella era talmente ovvia che non necessitava di molte parole, ma sulle speranze e sui progetti per il dopoguerra. Butenandt mi chiese:

“Come giudica le prospettive di poter fare ancora scienza in Germania dopo la guerra? Molti istituti saranno distrutti, molti validi giovani scienziati saranno caduti e la miseria generale farà apparire alla maggior parte delle persone altri problemi molto più urgenti rispetto alla promozione della scienza. D'altra parte, la ricostruzione della ricerca scientifica in Germania è uno dei presupposti più importanti per una stabilizzazione duratura della nostra economia e per una integrazione razionale nel contesto europeo”.

“Credo che si possa già sperare” risposi, “che i tedeschi si ricordino della ricostruzione dopo la Prima guerra mondiale, quando la collaborazione tra scienza e tecnica, ad esempio nell'industria chimica o nell'industria ottica, diedero i contributi più importanti. I nostri concittadini capiranno presto che senza una ricerca scientifica di successo non si potrà più partecipare alla vita moderna e forse riconosceranno, proprio nel contesto della fisica nucleare, che l'abbandono della ricerca compiuto dall'attuale sistema nazionalsocialista ha contribuito alla catastrofe o ne è stato almeno un sintomo.

Ma devo ammettere che questa convinzione non mi basta. Sicuramente la radice del male è molto più profonda. Ciò che vediamo qui davanti a noi è solo la fine logica di quel mito del 'crepuscolo degli dei', di quella filosofia del 'tutto' o del 'niente' a cui il popolo tedesco ha sempre creduto. La fede in un *Führer*, nell'eroe e nel liberatore, che guida il popolo tedesco attraverso il pericolo e la miseria verso un mondo migliore in cui vivere liberi da tutte le oppressioni esterne, o che, quando il destino ha deciso contro di noi, marcia risolutamente verso la fine del mondo, questa terribile fede e la pretesa di absolutezza ad essa associata corrode tutto. Ciò sostituisce la realtà con una gigantesca illusione e rende impossibile qualsiasi comunicazione con i popoli tra i quali e con i quali dobbiamo vivere. Quindi preferisco porre la domanda in questo modo: se l'illusione viene distrutta senza sosta e senza pietà dalla realtà, potrebbe allora l'impegno nella scienza essere per noi un modo per procedere verso una valutazione più sobria e critica del mondo e della nostra situazione all'interno di esso? Dunque penso più al lato pedagogico della scienza che a quello economico; all'educazione al pensiero critico che forse da essa ci si può aspettare. Naturalmente, il numero di persone che possono veramente dedicarsi attivamente alla scienza non è molto elevato. Ma i rappresentanti della scienza sono sempre stati tenuti in grande considerazione in Germania, sono stati ascoltati e il loro modo di pensare potrebbe influenzare molti altri ambienti.”

“L’educazione al pensiero razionale” confermò Butenandt, “è sicuramente un punto cruciale e uno dei nostri compiti principali nel dopoguerra sarà quello di dare nuovamente più spazio a questo modo di pensare. In realtà, l’andamento della guerra fino ad oggi dovrebbe aver aperto gli occhi sulla realtà, ad esempio sul fatto che la fiducia nel *Führer* non può sostituire le fonti di materie prime, né può magicamente migliorare uno sviluppo scientifico e tecnologico trascurato. Uno sguardo al globo, ai vasti territori controllati da Stati Uniti, Inghilterra e Russia, e alla piccola area assegnata al popolo tedesco sulla terra, sarebbe dovuto bastare per scoraggiare il tentativo intrapreso. Ma il pensiero logico e sobrio è difficile per noi. Certamente non manca un numero sufficiente di persone intelligenti, ma come popolo tendiamo a perderci nei sogni, a dare valore più all’immaginazione che all’intelletto e a considerare i sentimenti più profondi dei pensieri. Pertanto, sarà urgente riconquistare il prestigio del pensiero scientifico e ciò dovrebbe essere possibile anche in un momento di emergenza dopo la guerra”.

Camminavamo ancora sempre tra case in fiamme della Potsdamer Straße e delle sue prosecuzioni, lungo la Hauptstraße, la Rheinstraße, la Schlosstraße. Spesso dovevamo aggirare cataste di travi bruciate o incandescenti, resti di tetti che erano rovesciati sulla strada. Oppure venivamo trattenuti da sbarramenti che ci avvertivano di possibili inneschi tardivi. Un ulteriore rallentamento ebbe luogo, dopo che la mia scarpa destra iniziò a bruciare, avevo calpestato sbadatamente una pozzanghera di fosforo. Per fortuna nelle vicinanze trovai una pozza d’acqua dove spegnere il fuoco.



Berlino dopo i bombardamenti

“Noi tedeschi”, cercai così di continuare il discorso: “percepriamo la logica e i dati di fatto propri delle leggi naturali - anche quello che vediamo qui davanti a noi sono fatti - spesso come una costrizione, come una pressione alla quale facciamo fatica a sottometterci. Crediamo che la libertà esista solo dove possiamo spogliarci di questa costrizione, cioè nel regno dell’immaginazione, nel sogno, nell’ebbrezza della devozione all’utopia. Lì speriamo nella realizzazione dell’assoluto che immaginiamo e che ci sprona verso più alte prestazioni, come per esempio l’arte. Ma non consideriamo che questa realizzazione significa la nostra subordinazione alla legittimità della costrizione. Perché è vero solo ciò che funziona e tutte le azioni si basano sulla relazione legittima dei fatti o dei pensieri.

Ma anche considerando questa strana inclinazione di noi tedeschi verso il sogno e la mistica, non posso comprendere perché tanti nostri connazionali, apparentemente sobri, trovino i pensieri scientifici così deludenti. Non è affatto giusto che la scienza si occupi solo del pensiero logico e della comprensione delle leggi naturali accertate. In realtà, la fantasia gioca un ruolo importante nel regno della scienza e anche della scienza naturale. Infatti, anche se per ottenere dei fatti è necessario un lavoro molto sobrio, attento, sperimentale, la comprensione delle relazioni dei fatti è possibile solo immedesimandosi nei fenomeni piuttosto che pensandoli. Forse anche in questo caso noi tedeschi abbiamo un compito particolare, proprio perché l'assoluto esercita su di noi un fascino così strano. Nel mondo esterno è molto diffuso il modo di pensare pragmatico e si sa, come dal nostro tempo, così come dalla storia - basti pensare all'impero egiziano, romano e anglosassone - questo modo di ragionare possa risultare di successo nella tecnica, nell'economia e nella politica. Ma nella scienza e nell'arte il pensiero, così come lo conosciamo nella sua forma più grandiosa dell'antica Grecia, è stato un successo ancora maggiore. Se in Germania sono nate prestazioni scientifiche o artistiche che hanno cambiato il mondo - si può pensare a Hegel e Marx, a Plank e ad Einstein, o nella musica a Beethoven e Schubert - ciò è stato possibile solo attraverso questo rapporto con l'assoluto, attraverso un pensiero spinto fino all'ultima conseguenza. Dunque, solo là dove l'aspirazione all'assoluto si sottomette all'obbligo della forma, nella scienza il pensiero logico e sobrio e nella musica le regole dell'armonia e del contrappunto, solo lì, solo in quella estrema tensione questa può sviluppare la sua vera forza. Non appena la forma esplose, la strada conduce al caos, proprio come lo vediamo qui davanti a noi; e non sono disposto a glorificare questo caos con concetti come il *crepuscolo degli dei* o la *fine del mondo*.”

Nel frattempo la mia scarpa destra aveva ricominciato a bruciare e ci volle un po' di impegno, non solo per spegnerla, ma anche per rimuovere definitivamente il liquido fosforico. Butenandt riteneva che:

“Sarebbe bene se ci occupassimo direttamente dei dati di fatto. Per il futuro dobbiamo sperare che dopo la guerra in Germania ci siano anche politici che, grazie a una fantasia che agisce nell'ambito dei dati, possano garantire nuovamente al popolo tedesco condizioni di vita abbastanza sopportabili. Per quanto riguarda la scienza, credo tra l'altro che la *Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft*¹¹ possa rappresentare un riferimento relativamente buono per la ricostruzione della ricerca in Germania. Le università hanno potuto sottrarsi molto meno facilmente all'intervento politico rispetto alla *Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft*. Esse dunque dovranno affrontare maggiori difficoltà. Se la nostra società ha dovuto scendere a certi compromessi, anche in guerra, partecipando a progetti di armamento, lo hanno fatto anche molti dei suoi collaboratori che hanno anche rapporti di amicizia con studiosi stranieri, i quali valutano

¹¹ **Società dell'Imperatore Wilhelm per l'avanzamento delle Scienze**, era un'organizzazione scientifica fondata a Berlino nel 1911, allo scopo di promuovere l'avanzamento scientifico e rendere indipendente la ricerca scientifica dallo stato. La Società comprendeva diversi istituti, ciascuno con una attinenza ad un ben preciso campo di ricerca (chimica, fisica, medicina, ecc.)

correttamente il significato del pensiero sobrio e ponderato in Germania e nei propri Paesi, e che saranno anche pronti ad aiutare secondo le loro forze.”

"Nella sua scienza, riesce a vedere dei punti di partenza per una cooperazione internazionale pacifica dopo la guerra?"

"Ci sarà sicuramente una tecnologia atomica pacifica", risposi, "ciò significherà utilizzare l'energia atomica attraverso il processo di fissione dell'uranio scoperto da Otto Hahn. Inoltre, si potrebbe ben immaginare una cooperazione internazionale, poiché si spera che il suo utilizzo bellico non abbia più alcun ruolo in questa guerra a causa dell'enorme sforzo tecnico necessario. Il passo decisivo verso questa tecnologia atomica è stato compiuto grazie alla scoperta di Hahn, infatti i fisici atomici hanno sempre lavorato in amicizia anche oltre i confini nazionali".

"Ebbene, dovremo aspettare e vedere come andranno le cose dopo la fine della guerra. In ogni caso, dobbiamo restare uniti all'interno della *Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft*".

Così ci separammo, poiché la strada di Butenandt portava a Dahlem e la mia a Fichteberg, dove rimasi per un po' con i genitori di Elisabeth. Di recente avevo portato i miei figli più grandi a Berlino per fare gli auguri di compleanno al nonno, quindi ero molto preoccupato per come se la fossero cavata loro e i nonni durante l'attacco aereo. La mia speranza che almeno Fichteberg fosse stata risparmiata dalla distruzione non si concretizzò. Già da lontano potei notare che la casa dei vicini era totalmente in fiamme e che queste stavano fuoriuscendo anche dal tetto della nostra casa. Mentre passavo davanti all'abitazione accanto, sentii chiedere aiuto. Prima però, dovevo controllare i bambini e i loro custodi. La nostra casa era gravemente danneggiata, porte e persiane erano esplose a causa della pressione dell'aria e in un primo momento, con grande sgomento, trovai la casa e il rifugio antiaereo vuoto. Fu solo in soffitta che finalmente trovai la coraggiosa madre di mia moglie, che stava combattendo contro il fuoco proteggendosi dalla caduta di mattoni con un elmo d'acciaio. Da lei seppi che i nostri figli erano stati portati nella casa accanto al giardino botanico, relativamente intatta, e lì dormivano tranquilli sotto la cura del nonno, dei proprietari, del ministro Schmidt-Ott e sua moglie. Anche a casa nostra il grosso del lavoro di spegnimento dell'incendio era già stato fatto e bastò rimuovere qualche trave in più per essere abbastanza al sicuro da un'ulteriore propagazione dell'incendio.

Solo a questo punto mi occupai della richiesta di aiuto che veniva dalla casa vicina in fiamme. La capriata del tetto era già in parte caduta, le sue travi bruciate giacevano nel giardino e rendevano difficile l'entrata. Tutto il piano superiore era in fiamme. Al piano terra incontrai la giovane donna che aveva chiamato aiuto e da lei seppi che il padre anziano si trovava ancora sopra, nella soffitta e con l'acqua versata in un secchio da una conduttura ancora funzionante si difendeva dalle fiamme che divampavano in ogni parte. Ma le scale erano già bruciate e lei non sapeva come salvarlo. Per fortuna, invece dei vestiti, per spegnere l'incendio mi ero messo una vecchia tuta sportiva ed ero quindi abbastanza agile. Riuscii ad arrampicarmi in cima alla soffitta e a vedere dietro ad un muro di fuoco l'anziano signore dai

capelli bianchi, che, quasi privo di sensi, versava acqua attorno a sé per proteggere ancora dalle fiamme quel piccolo spazio che si restringeva. Dopo un salto attraverso il muro di fuoco mi trovai davanti a lui, esitò per un momento quando vide inaspettatamente uno sconosciuto fuliginoso, ma subito cambiò atteggiamento, pose il secchio da parte, si inchinò educatamente e disse: "Mi chiamo Von Enslin, molto gentile da parte sua aiutarmi". Si comportava ancora con quel vecchio stile prussiano che avevo sempre ammirato: disciplina, ordine e poche parole. Per un momento mi tornò alla mente la mia conversazione con Niels sulla spiaggia dell'Öresund, in cui questi aveva paragonato i prussiani agli antichi vichinghi, poi quel laconico messaggio di un ufficiale prussiano che combatteva in una situazione senza speranza: 'In piedi per l'adempimento del proprio dovere fino all'estremo'. Ma non avevo il tempo di pensare alla forza dei vecchi modelli. Bisognava agire, lì e subito. Allo stesso modo di come ero arrivato, riuscii a portare l'anziano signore al sicuro.

Alcune settimane dopo, la nostra famiglia traslocò in linea con i piani prebellici da Lipsia a Urfeld am Walchensee. Volevamo, per quanto possibile, proteggere i bambini dal caos degli attacchi aerei. Anche il nostro istituto di fisica *Kaiser-Wilhelm* di Dahlem ricevette l'incarico di cercare una sede in una zona che fosse meno esposta durante i bombardamenti aerei. Una fabbrica tessile nella piccola cittadina di Hechingen nel Südwürttemberg aveva abbastanza spazio vuoto per accoglierci. Trasferimmo così a poco a poco anche le nostre attrezzature di laboratorio e il nostro personale a Hechingen.

Degli ultimi anni caotici della guerra mi sono chiaramente rimaste in mente solo immagini singole. Esse appartengono allo sfondo sul quale in seguito ho fondato le mie opinioni sulle questioni politiche generali, per questo necessitano solo un accenno di poche righe.

Degli aspetti più piacevoli della mia vita a Berlino facevano parte le serate della cosiddetta *Mittwochesellschaft*¹², alla quale appartenevano come membri il colonnello generale Beck¹³, il ministro Popitz, il chirurgo Sauerbruch, l'ambasciatore von Hassel, Eduard Spranger¹⁴, Jessen¹⁵, Schulenburg¹⁶ e altri.

Ricordo una riunione serale da Sauerbruch il quale, dopo la sua conferenza scientifica sulle operazioni polmonari, offrì una principesca cena con vino magnifico per quel 'tempo da fame', tanto che alla fine il signor von Hassel salì sul tavolo e intonò canti studenteschi; ricordo in seguito l'ultima

¹² *Società del mercoledì*, fondata a Berlino nel 1863 per il libero intrattenimento scientifico, frequentata da personalità del mondo scientifico e accademico. Gli incontri avvenivano di mercoledì e ogni membro invitava gli altri componenti due volte l'anno ad ascoltare le proprie relazioni e partecipare a dibattiti riguardo temi di comune interesse. La società venne chiusa dopo l'attentato a Hitler del 1944.

¹³ **Ludwig Beck (1880-1944)**, generale tedesco, fu Capo di Stato Maggiore dell'esercito tedesco e il vero capo della resistenza interna alla dittatura e l'organizzatore dell'attentato a Hitler del 20 luglio 1944, dopo il cui fallimento fu arrestato e ucciso il 21 luglio 1944.

¹⁴ **Eduard Franz Ernst Spranger (1882 – 1963)**, pedagogista e psicologo tedesco, uno dei fondatori della pedagogia moderna. Lavorò affinché si promuovesse la formazione dell'uomo interiore. Per i suoi risultati scientifici Spranger ottenne numerosi premi. Suo il concetto di "Terzo umanesimo".

¹⁵ **Jens Jessen (1895-1944)**, economista tedesco, professore nelle università di Kiel, Marburgo e Berlino, direttore dello 'Schmoller's Jahrbuch'. Tenne viva la fede liberale negli anni del nazismo. Fu condannato a morte nel luglio del 1944 dopo l'attentato a Hitler.

¹⁶ **Friedrich-Werner Erich von Schulenburg (1875-1944)**, diplomatico tedesco. Lavorò presso diverse nelle ambasciate durante la repubblica di Weimar, dopo una prima adesione al nazionalsocialismo se ne allontanò e si aderì alla resistenza tedesca.

serata di questa società a luglio del 1944, alla quale io invitai i membri nella *Harnack Haus*¹⁷. Nel pomeriggio raccolsi i lamponi nel giardino del mio istituto, la direzione della *Harnack Haus* contribuì con latte e un po' di vino, così potei quantomeno ospitare i miei invitati con un banchetto frugale. Poi riferii, per quel tanto che mi era consentito in base alle disposizioni di riservatezza, in merito all'energia atomica nelle stelle e il suo sfruttamento tecnico sulla terra. Alla discussione parteciparono in particolare Beck e Spranger. Beck vide immediatamente che da lì in avanti tutte le concezioni militari precedenti avrebbero dovuto cambiare, Spranger formulò quello che noi fisici da lungo tempo ipotizzavamo, cioè che l'evoluzione della fisica atomica avrebbe potuto provocare trasformazioni nel pensiero degli uomini, che avrebbero ampiamente raggiunto le strutture sociali e filosofiche.

Il 19 luglio portai il testo del verbale della seduta nell'appartamento di Popitz e andai in seguito, di notte, col treno verso Monaco e poi a Kochel. Da lì dovetti camminare a piedi ancora per ore per arrivare a Urfeld. Per la strada incontrai un soldato che caricava il suo bagaglio su un carrello per Kesselberg. Io posai la mia pesante valigia e lo aiutai a caricare. Il soldato mi raccontò che aveva appena sentito alla radio, che c'era stato un attentato a Hitler. Hitler comunque era stato solamente ferito leggermente, però a Berlino era scoppiata una rivolta all'interno dei livelli alti delle forze armate. Gli domandai prudentemente cosa ne pensasse. Mi rispose solo: "è già buono che si muova qualcosa". Alcune ore dopo a Urfeld mi sedetti davanti a un apparecchio radiofonico e sentii che il colonnello generale Beck era caduto nella caserma delle forze dell'ordine nella Bendlerstraße. Popitz, Hassel, Schulenburg, Jessen erano stati nominati come conniventi del complotto e io sapevo cosa questo significasse. Anche Reichwein, che all'inizio di luglio avevo frequentato presso la *Harnack Haus*, era stato arrestato.

Qualche giorno dopo andai a Hechingen, dove già era radunata la maggior parte del mio istituto di Berlino. Lì noi preparammo il successivo esperimento per il reattore atomico in una cantina nella roccia, che offriva buona protezione dagli attacchi aerei, nella pittoresca cittadina di Haigerloch im Berg, sotto la chiesa del castello. I tragitti regolari tra Hechingen e Haigerloch con la bicicletta, gli orti dei contadini, i boschi nei quali noi nei giorni di festa cercavamo i funghi, tutto questo era così quotidiano come le onde nella baia di Eleusi lo erano state per Hans Euler, e noi potemmo per alcuni giorni dimenticare passato e futuro. Quando nell'aprile 1945 gli alberi da frutto cominciarono a fiorire, la guerra si avviò verso la fine. Stabilii con i miei collaboratori che, quando nessun pericolo imminente avrebbe più minacciato l'istituto e i suoi membri, avrei lasciato Hechingen in bicicletta, per poter assistere la mia famiglia a Urfeld durante l'arrivo delle truppe straniere.

A metà aprile, gli ultimi resti delle truppe tedesche disfatte si spostarono verso est passando per Hechingen. Una mattina udimmo i primi carri armati francesi. A sud avevano probabilmente già superato Hechingen arrivando fino alla cresta del Rauren Alb.

¹⁷ La *Harnack Haus* nel quartiere Dahlem di Berlino venne aperta nel 1929 come centro per la vita scientifica e intellettuale tedesca.

Il tempo della mia partenza sembrava essere arrivato. Verso mezzanotte ritornò Carl Friedrich da un viaggio di ricognizione, intrapreso in bici verso Reutlingen. Nel rifugio antiaereo dell'istituto festeggiammo brevemente il nostro congedo e, verso le tre di mattina, mi misi in marcia in direzione Urfeld. Quando all'alba raggiunsi Gammertingen, fui sicuro di essermi lasciato alle spalle la linea di combattimento. Dovevo solo eludere continuamente la minaccia dei voli a bassa quota. In entrambi i giorni successivi viaggiai, proprio per via di questa minaccia, soprattutto di notte; di giorno provavo a mantenere le forze riposando e procurandomi il cibo. Mi ricordo di una collina nei pressi di Krugzell, sulla quale, dopo aver mangiato, volli dormire nella splendida e calda luce solare, sotto la protezione di una siepe. Sotto il cielo senza nuvole si estendeva davanti a me l'intera catena alpina, Hochvogel, Mädelegabel e tutte le montagne sulle quali, sette anni prima, mi aggiravo come alpino, e ancora in basso fiorivano i ciliegi. La primavera era davvero iniziata in quel momento, e i miei pensieri veloci che andavano sciogliendosi guardavano ad un futuro luminoso, fino a quando finalmente non mi addormentai.

Qualche ora dopo, svegliato da un fragoroso ruggito vidi nuvole dense di fumo alzarsi sopra la città di Memmingen che si scorgeva in lontananza. Quindi la guerra era ancora lì, e io dovevo andare più a est. Il terzo giorno arrivai a Urfeld e trovai la mia famiglia sana e salva. La settimana successiva mi preparai per la fine della guerra. Proteggemmo le finestre nel seminterrato con sacchi di sabbia e portammo in casa tutti i generi alimentari accessibili che si potevano facilmente reperire.

Le case vicine erano vuote, perché i loro abitanti erano fuggiti sull'altra sponda del lago. Nei boschi erano sparsi soldati, reparti delle SS e grandi quantità di munizioni di scarto, che mi preoccupavano molto per via dei bambini. Di giorno dovevamo evitare molti pericoli, visto che c'erano sempre sparatorie e le notti, dato che la nostra casa era nella terra di nessuno, erano piene di inquietante tensione. Quando il 4 maggio il colonnello americano Pash¹⁸ fece irruzione in casa nostra con alcuni soldati per catturarmi, ebbi la sensazione di un nuotatore mortalmente esausto che mette piede sulla terraferma per la prima volta.



Boris Pash (a destra) nell'aprile 1945, durante l' Operazione Alsos , a Hechingen .

¹⁸**Theodore Boris Pash (1900-1995)**, ufficiale negli Stati Uniti di un membro dell'intelligence militare dell'esercito degli Stati Uniti . Ha guidò l' *operazione Alsos* nella seconda guerra mondiale un'operazione dei Alleati per determinare il grado di avanzamento della ricerca atomica nemica. A seguito di quella cattura Heisenberg e altri fisici tedeschi furono detenuti per diversi mesi dagli angloamericani nei pressi di Cambridge, dove furono interrogati e spiati, al fine di chiarire le loro conoscenze sullo sviluppo atomico.

La notte prima era caduta la neve, ma il giorno della partenza il sole primaverile splendeva da un cielo blu scuro e inondava il paesaggio innevato di una luce brillante. Chiesi a una delle mie guardie americane, che aveva combattuto in tante parti del mondo, se gli piacesse quel luogo tra le montagne e il lago, lui rispose che era il posto più bello della terra che finora avesse mai visto.

APPROFONDIMENTI

L'ENERGIA NUCLEARE

LE RADIAZIONI

Le radiazioni sono energia emessa dalla materia sotto forma di raggi o particelle ad alta velocità. Tutta la materia è composta da atomi. Gli atomi sono costituiti di particelle fondamentali: il nucleo contiene particelle minuscole chiamate protoni e neutroni, mentre il guscio esterno dell'atomo contiene altre particelle chiamate elettroni. Il nucleo ha una carica elettrica positiva, mentre gli elettroni hanno una carica elettrica negativa. Queste forze all'interno dell'atomo interagiscono per raggiungere un equilibrio forte e stabile, liberandosi dell'energia atomica in eccesso (radioattività). In questo processo, i nuclei instabili possono emettere una quantità di energia, e questa emissione spontanea è ciò che chiamiamo radiazione.

FORME FISICHE DI RADIAZIONI

La materia emette energia sotto forma di radiazione in due forme fisiche fondamentali. La prima è pura e senza peso, nota come radiazione elettromagnetica, che si presenta come "onde" vibranti o pulsanti di energia elettrica e magnetica. I tipi di radiazione elettromagnetica più noti sono la luce solare (radiazione cosmica), i raggi X e le onde radio.

L'altra forma di radiazione, nota come radiazione particellare, è costituita da minuscole particelle in rapido movimento che trasportano sia energia che massa. Questa forma di radiazione, meno conosciuta, comprende particelle alfa, particelle beta e neutroni.

FISSIONE NUCLEARE

In alcuni elementi, chiamati materiali fissili, il nucleo può dividersi in seguito all'assorbimento di un neutrone aggiuntivo, attraverso un processo chiamato fissione nucleare. Uno di questi materiali, particolarmente importante, è l'uranio-235, isotopo utilizzato come combustibile nelle centrali nucleari.

La fissione di un nucleo provoca tre eventi importanti che si traducono in un rilascio di energia: il rilascio di radiazioni, il rilascio di neutroni (di solito due o tre) e la formazione di due nuovi nuclei (prodotti di fissione).

DECADIMENTO RADIOATTIVO

I grandi atomi instabili diventano più stabili emettendo radiazioni per liberarsi dell'energia atomica in eccesso (radioattività). Queste radiazioni possono essere emesse sotto forma di particelle alfa con carica positiva, particelle beta con carica negativa, raggi gamma o raggi X.

Questo processo, chiamato decadimento radioattivo, permette ai radioisotopi di perdere la loro radioattività nel tempo. Questa perdita graduale di radioattività si misura in *emivite*, ovvero il tempo che impiega la metà degli atomi di un radioisotopo a decadere emettendo radiazioni. Questo tempo può variare da frazioni di secondo (per il radon-220) a milioni di anni (per il torio-232). Quando i radioisotopi vengono utilizzati in medicina o nell'industria, è fondamentale conoscere la velocità con cui essi perdono la loro radioattività, al fine di conoscere la quantità esatta di radioisotopo necessaria per la procedura medica o l'uso industriale.

RADIAZIONI IONIZZANTI

Le radiazioni possono essere ionizzanti o non ionizzanti, a seconda del loro effetto sulla materia. Le radiazioni non ionizzanti comprendono la luce visibile, infrarossi, le microonde e le onde radio. Questo tipo di radiazione deposita energia nei materiali che attraversa, ma non ha un'energia sufficiente per rompere i legami molecolari o rimuovere gli elettroni dagli atomi.

Le radiazioni ionizzanti (come i raggi X e i raggi cosmici) sono invece più energiche di quelle non ionizzanti. Di conseguenza, quando le radiazioni ionizzanti attraversano un materiale, depositano energia sufficiente per rompere i legami molecolari e spostare o rimuovere gli elettroni dagli atomi. Questo spostamento di elettroni crea due particelle elettricamente cariche (ioni), che possono causare cambiamenti nelle cellule viventi di piante, animali e persone.

Le radiazioni ionizzanti hanno una serie di usi benefici. Ad esempio, utilizziamo le radiazioni ionizzanti nei rilevatori di fumo, per trattare il cancro, sterilizzare le apparecchiature mediche; tuttavia esse sono potenzialmente dannose se non utilizzate correttamente, per questo la Nuclear Regulatory Commission (NRC) degli Stati Uniti ne regola rigorosamente gli usi commerciali e istituzionali. I principali tipi di radiazioni ionizzanti sono:

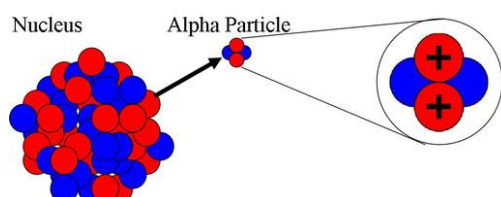
- Particelle Alfa
- Particelle Beta
- Raggi gamma e raggi X
- Neutroni

PARTICELLE ALFA

Le particelle alfa sono particelle cariche emesse da elementi sia naturali (come uranio, torio e radio) che sintetici (come plutonio e americio). Questi emettitori alfa sono utilizzati principalmente, in quantità molto ridotte, in oggetti come i rilevatori di fumo.

In generale, le particelle alfa hanno una capacità molto limitata di penetrare in altri materiali, ad esempio possono essere bloccate da un foglio di carta, dalla pelle o anche da pochi centimetri d'aria. Tuttavia, i materiali che emettono particelle alfa sono potenzialmente pericolosi se vengono inalati o ingeriti, ma l'esposizione esterna in genere non rappresenta un pericolo. La radiazione alfa comporta l'emissione di una particella alfa, ovvero un nucleo di Elio (costituito da 2 protoni e 2 neutroni).

Si tratta di una radiazione lenta e che si verifica difficilmente. Infine, in seguito alla radiazione, il nucleo non sarà del tutto stabile.



Fonte: <https://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2016/02/alfaParticle.jpg>

PARTICELLE BETA

Le particelle beta, che di fatto sono elettroni o positroni, sono emesse da materiali presenti in natura (come lo stronzio-90). Tali emettitori beta sono utilizzati in applicazioni mediche, come il trattamento delle malattie degli occhi.

In generale, le particelle beta sono più leggere delle particelle alfa e hanno una maggiore capacità di penetrare in altri materiali; di conseguenza, possono viaggiare per alcuni metri nell'aria e penetrare la pelle. Una sottile lastra di metallo però, di plastica, o un blocco di legno possono fermare le particelle beta. L'esposizione alle particelle beta, che spesso è cronica, può causare danni ai tessuti. Questi effetti si manifestano dopo alcuni anni e la patologia più comune è il cancro. Un esempio è la radiazione beta causata dallo iodio-131, il quale si accumula nei tessuti della tiroide e ne provoca il cancro. Alcuni emettitori di particelle beta, come il carbonio-14, si trovano invece naturalmente in tutto il corpo e la loro radiazione non risulta essere dannosa.

Il decadimento beta è un processo lento e ne esistono due tipologie: positivo e negativo.

DECADIMENTO BETA NEGATIVO

Il decadimento beta negativo avviene a causa di un eccesso di neutroni.

Durante questo processo il neutrone è trasformato in protone e viene rilasciato un elettrone.

Inoltre, viene espulsa una piccola particella antineutrino; si tratta dell'antiparticella del neutrino, ovvero una particella di carica nulla e massa molto piccola, che per questo interagisce poco con la materia.

Equazione generale del decadimento radioattivo beta negativo:



Dove:

${}^A_Z X_N$ è il nucleo "genitore"

${}^A_{Z+1} Y_{N-1}$ è il nucleo "figlio"

e^- è la particella beta rilasciata dal nucleo, cioè un elettrone

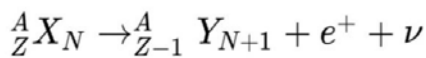
$\bar{\nu}$ è l'anti-neutrino rilasciato.

DECADIMENTO BETA POSITIVO

Si assiste al decadimento beta positivo quando c'è un eccesso di protoni.

In questo caso, il protone è trasformato in neutrone e viene emesso un positrone. Un positrone è l'antiparticella dell'elettrone, cioè possiede la stessa massa dell'elettrone, ma la sua carica è uguale e opposta (e^+). Infine viene prodotta una particella di neutrino.

Equazione generale del decadimento radioattivo beta positivo:



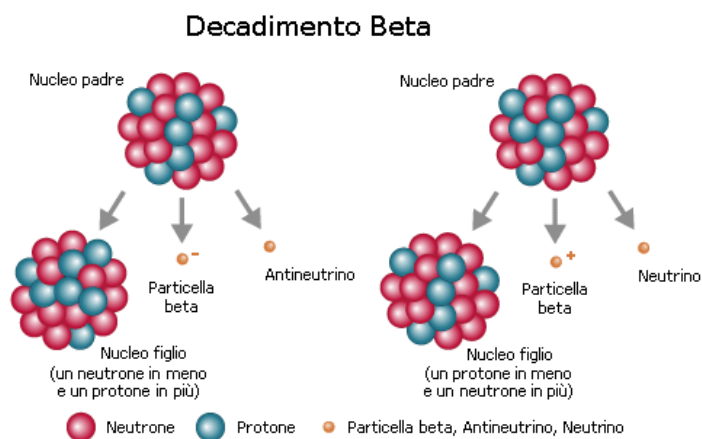
Dove:

${}^A_Z X_N$ è il nucleo "genitore"

${}^A_{Z-1} Y_{N+1}$ è il nucleo "figlio"

e^+ è la particella beta rilasciata dal nucleo, cioè un positrone

ν è il neutrino rilasciato



Fonte: <http://www.helldragon.eu/loretta/cdrom/immagini/neutrini/beta.gif>

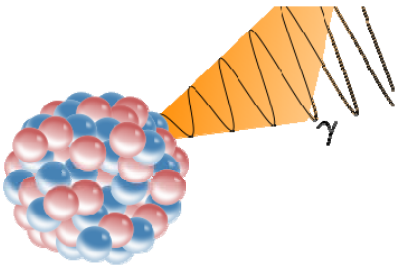
RAGGI GAMMA E RAGGI X

I raggi gamma e i raggi X sono onde ad alta energia che possono percorrere grandi distanze alla velocità della luce e in genere hanno una grande capacità di penetrare altri materiali. Per questo motivo, i raggi gamma (come quelli provenienti dal cobalto-60) sono spesso utilizzati in campo medico per trattare il cancro e sterilizzare gli strumenti medici. Allo stesso modo, i raggi X sono utilizzati per fornire immagini statiche di parti del corpo (come denti e ossa) e sono anche usati nell'industria per trovare difetti nelle saldature.

Nonostante la loro capacità di penetrare altri materiali, in generale né i raggi gamma né i raggi X hanno la capacità di rendere radioattivo qualcosa. Diversi metri di cemento o pochi centimetri di materiale denso, ad esempio il piombo, sono in grado di bloccare questi tipi di radiazioni. Durante la radiazione gamma viene emesso un fotone energetico dal nucleo.

Il fotone è una particella di carica nulla e priva massa; pertanto esso possiede esclusivamente energia.

Si assiste quindi a un'emissione di luce la quale causa la perdita di energia e la diseccitazione del nucleo.

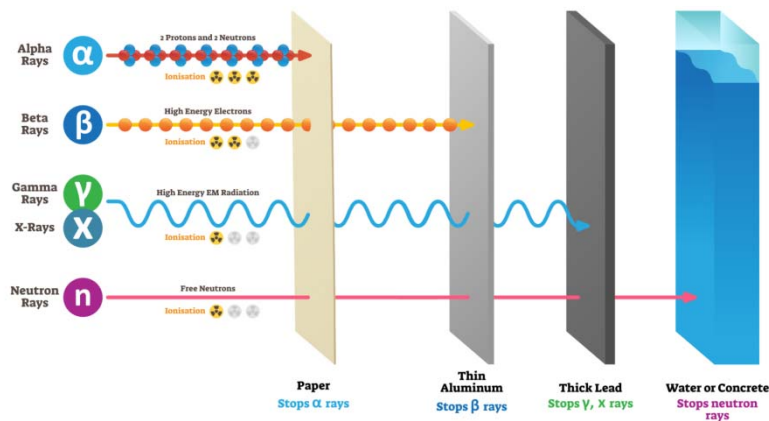


Fonte: https://wikipedia.org/wiki/File:Gamma_Decay.svg

NEUTRONI

I neutroni sono particelle nucleari ad alta velocità che hanno un'eccezionale capacità di penetrare altri materiali. Dei tipi principali di radiazioni ionizzanti, i neutroni sono gli unici in grado di rendere gli oggetti radioattivi. Questo processo, chiamato attivazione neutronica, produce molte delle sorgenti radioattive utilizzate in campo medico, accademico e industriale (compresa la ricerca di petrolio).

A causa della loro eccezionale capacità di penetrare altri materiali, i neutroni possono percorrere grandi distanze in aria e richiedono materiali contenenti idrogeno molto spessi, come cemento o acqua, per essere bloccati. Fortunatamente, però, le radiazioni neutroniche si verificano principalmente all'interno di un reattore nucleare, dove molti metri di acqua forniscono una schermatura efficace.



LA SCOPERTA DELLE RADIAZIONI

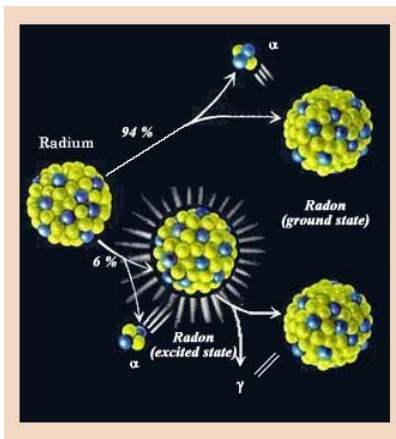
Nel 1869 gli scienziati notarono che i sali di uranio producevano emissioni fino a quel momento sconosciute. I raggi X e i raggi catodici (fasci di elettroni) erano appena stati scoperti, mentre elettroni, nuclei e fotoni non si conoscevano ancora.

Si capì dopo molti anni che i raggi X e i raggi catodici erano fotoni ed elettroni, proprio come le radiazioni gamma e beta.

IL RADIO

La scienziata polacca Marie Curie scoprì il radio-226 nel 1898.

Nel 94% dei casi il radio-226 decade in radon stabile e durante il processo viene emessa una particella alfa. Nel 6% dei casi, il nucleo, dopo aver prodotto una particella alfa e essersi trasformato in radon, rimane in uno stato eccitato. Subito dopo avviene una radiazione gamma, la quale lo rende stabile.



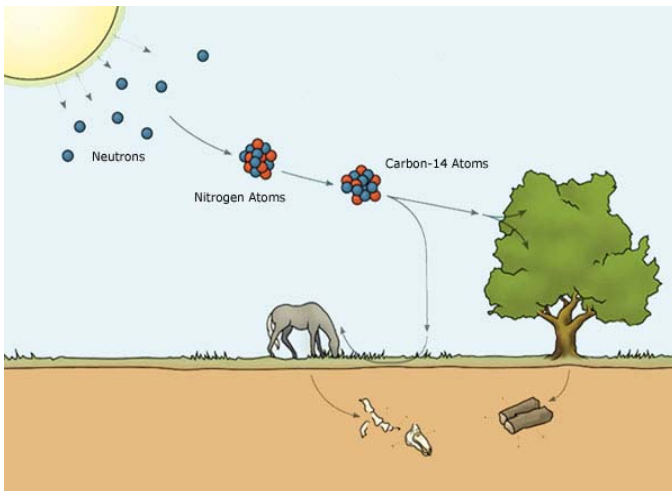
fonte: <https://radioactivity.eu.com/static/75cd70d87a816aafae867f657fa6d355/04147/EnSchemaDesintegration.jpg>

LA DATAZIONE DEL CARBONIO

La datazione del carbonio (C) viene utilizzata per determinare l'età di manufatti in legno oppure di resti animali. Questa tecnica si basa sulle proprietà del decadimento. Infatti, la datazione è calcolata attraverso il rapporto della quantità di carbonio-12 (^{12}C) e di carbonio-14 (^{14}C) presente nel campione da analizzare.

Il ^{14}C è un isotopo radioattivo del C, che si forma continuamente in atmosfera a causa della reazione tra i neutroni prodotti dai raggi solari e l'azoto-14 (^{14}N). In seguito, il ^{14}C si ossida e si mescola alla CO_2 contenente ^{12}C . Quindi, ogni materiale organico contiene una percentuale fissa di ^{14}C fino a quando si verifica uno scambio con l'ambiente esterno. In seguito alla morte o all'isolamento di un materiale, il ^{14}C inizia a diminuire attraverso un procedimento di decadimento beta. In questo modo il ^{14}C decade ^{14}N fino al suo esaurimento (si tratta di un processo molto lento).

Pertanto, calcolando il rapporto tra la quantità di ^{12}C e ^{14}C si può stabilire l'età approssimativa di un campione.



fonte: <https://www.lacoltura.com/wp-content/uploads/2018/11/carbon-14-small.jpg>

I RILEVATORI DI FUMO A IONIZZAZIONE

I rilevatori di fumo che si basano sul fenomeno della ionizzazione risultano essere efficaci, poiché sono adatti anche agli incendi che causano bassi livelli di fumo o fumi invisibili. Questi rilevatori sono costituiti da una camera di ionizzazione e una sorgente di radiazioni ionizzanti. La camera è formata da due piastre parallele, distanti circa un centimetro. Attraverso una batteria si genera una differenza di potenziale, che carica una piastra positivamente e l'altra negativamente. La sorgente radioattiva è l'americio-241, una sostanza debolmente radioattiva, la quale genera particelle alfa.

Le particelle alfa rilasciate dalla sorgente radioattiva, ionizzano costantemente gli atomi di aria presenti nella camera. Quindi, vengono eliminati elettroni all'azoto e all'ossigeno, i quali si caricano positivamente e sono attratti dalla piastra negativa e in questo modo si genera una corrente.

Durante un incendio, quando il fumo entra nella camera, si lega agli ioni (di ossigeno e azoto) liberi, che non raggiungono più la piastra positiva. Si interrompe così la corrente e si attiva l'allarme.

COMBUSTIBILE NUCLEARE

Si chiamano combustibili nucleari i prodotti che possono essere usati per produrre energia nucleare; i più comuni sono l'uranio-235 (^{235}U) e il plutonio-239 (^{239}Pu). L'uranio viene estratto dai giacimenti sotterranei e successivamente viene raffinato. Il ^{239}Pu è una sostanza artificiale, che si ottiene bombardando l'uranio-238 (^{238}U) con neutroni, i quali sono assorbiti dal ^{238}U . Nelle centrali nucleari vengono usati questi due combustibili, poiché richiedono l'utilizzo di neutroni di energia relativamente bassa. Alcuni reattori possono usare uranio naturale, che contiene solo lo 0,7% di ^{235}U (la parte restante è costituita da ^{238}U). In altri casi, la concentrazione deve essere del 5%; per questo l'uranio deve essere arricchito attraverso un processo di separazione degli isotopi. Il combustibile viene poi impiegato nel reattore, dove avviene la reazione a catena, la quale genera l'energia nucleare. I rifiuti nucleari devono essere smaltiti nel modo corretto, poiché sono ancora radioattivi. I rifiuti delle centrali nucleari (scorie) si dividono in 3 categorie in base alla loro radioattività: a bassa, media e alta intensità. Quelli a bassa intensità rappresentano il 90% del totale e il tempo di decadimento è di circa 30 anni. Quelli a media intensità sono elementi di centrali che sono state smantellate il loro decadimento può durare 500 anni. Infine, quelli ad alta intensità, cioè i combustibili esauriti impiegano miliardi di anni a decadere.

RADIOTERAPIA E RADIOFARMACI

Lo studio dei decadimenti e delle radiazioni trova importanti applicazioni nella medicina contemporanea, la radioterapia risulta essere infatti uno dei principali strumenti impiegati in oncologia per combattere i tumori.

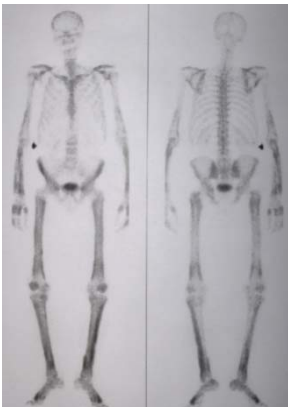
Nella radioterapia si sfruttano particelle (alfa, beta e neutroni) e radiazioni ionizzanti (raggi X e Gamma) prodotte da appositi acceleratori di particelle o emesse da alcuni materiali.



Strumentazione sanitaria – diagnostica per immagini

Irradiando con elevata precisione le masse tumorali con fasci di particelle se ne danneggia fisicamente il materiale genetico. Le cellule sane in prossimità vengono danneggiate anch'esse, perciò, nonostante sia possibile riparare agli eventuali danni, le zone bersaglio vengono individuate con estrema precisione.

La medicina nucleare è una importantissima applicazione di questa scienza, questa branca utilizza piccole quantità di materiale radioattivo per la diagnosi e il trattamento di diverse patologie.



https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fit.wikipedia.org%2Fwiki%2FScintigrafia_ossea&psig=AOvVaw0w6SmMo7GWJETI27J7BJfq&ust=1680787758781000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCMCo3rzskv4CFQAAAAAAdAAAAABAD

I radiofarmaci sono quindi composti da due elementi: un carrier, una molecola con lo scopo di trasportare la parte radioattiva nell'organo o apparato interessato.

Nella diagnostica essi sono utilizzati principalmente in oncologia, dove consentono di individuare con precisione dove è localizzato il tumore. Un esempio è la scintigrafia ossea, una procedura che consiste nell'iniezione di un radiofarmaco il quale andrà a distribuirsi nelle ossa con concentrazione differente in base all'attività metabolica di quest'ultime, permettendo così una mappatura dell'attività metabolica. Questa mappatura risulta essere molto utile per l'individuazione di tumori, anche di piccole dimensioni, poiché questi tipicamente utilizzano molta energia.

I radiofarmaci terapeutici si legano direttamente al tumore e alle metastasi trasportando dosi definite di radiazioni ed evitando così di intaccare le cellule sane con effetti analoghi alle radiazioni emesse con la radioterapia. La somministrazione di questi farmaci, mirata al tumore, avviene per via endovenosa facendo però in modo di non danneggiare altre cellule sane. Una delle applicazioni principali è la terapia metabolica, nella quale si sfrutta il radioisotopo iodio-131 per eliminare o evidenziare le eventuali cellule residue dopo l'asportazione della tiroide in seguito allo sviluppo di un tumore maligno.

CENTRALI NUCLEARI

La questione riguardante il nucleare è forse oggi una delle più discusse; nell'ultimo periodo sembrava fosse stata chiusa definitivamente, soprattutto in seguito ai risultati contrari dei due referendum, quello del 1987 e quello del 2011. Il nucleare torna ora a far parlare di sé a causa della necessità di produrre comunque o ricavare energia nel rispetto dell'adesione al Green Deal, che impone di portare a zero il bilancio netto di emissioni di gas serra in Europa entro il 2050. E il nucleare, con tutti i suoi difetti, ha un indubbio vantaggio: **non produce gas serra**.

La questione è tornata di attualità a inizio 2022, quando la Commissione Europea ha deciso di inserire il nucleare all'interno di una lista di attività economiche considerate sostenibili dal punto di vista ambientale, la cosiddetta "tassonomia" prevista dal Green Deal europeo come strumento fondamentale per guidare i governi e le imprese nelle loro scelte di sviluppo.

Allora è vero che dovremmo usarlo?

È giusto classificare questa forma di energia come "green"?

REAZIONE A CATENA: IL FUNZIONAMENTO DEL NUCLEARE

Il principio su cui si basano tutte le centrali nucleari è quello della **fissione**, grazie al quale il nucleo di un elemento di grande massa come l'uranio-235 si scinde in due nuclei più piccoli **emettendo un neutrone**; vengono quindi spezzate le forze nucleari presenti tra neutroni e protoni nel nucleo atomico. Questo neutrone, a sua volta libero, può colpire un altro nucleo di uranio-235, stimolando un'altra reazione di scissione. In questo modo, si può innescare un **processo a catena** che genera energia e altri elementi di scarto ovvero le scorie.

PRO E CONTRA

L'energia che si libera è davvero tanta, molta più di quella che possono produrre in proporzione le tradizionali reazioni chimiche di combustione; infatti 1 kg di uranio fornisce la stessa energia di 60 tonnellate di gas naturale, 80 di petrolio o 120 di carbone e questo è il motivo per cui si costruiscono centrali atomiche.

Inoltre, a differenza dei tradizionali combustibili fossili, la fissione nucleare non produce né CO₂ né altri inquinanti atmosferici per produrre elettricità. Certo, bisogna considerare che il processo di estrazione e raffinazione dell'uranio ha un suo impatto ambientale ma, nel complesso, possiamo dire che si tratta di una fonte energetica che non contribuisce al cambiamento climatico.

Un'altra caratteristica positiva del nucleare è che a differenza di molte fonti energetiche rinnovabili, questo può essere considerato una fonte energetica affidabile e non intermittente. Le centrali nucleari possono infatti a lavorare al massimo della potenza in maniera continuativa. Ciò permette di non dipendere da condizioni naturali variabili, come nel caso di solare ed eolico.

Naturalmente sono presenti anche degli svantaggi da non sottovalutare: l'uranio sul nostro pianeta, esiste in quantità limitate; con il passare del tempo quindi le riserve di uranio tenderanno ad esaurirsi, facendo aumentare il prezzo della risorsa e gli eventuali impatti ambientali legati alla sua estrazione.

Nonostante sia vero che il nucleare permette di produrre energia ad un costo relativamente contenuto sul lungo periodo, è altrettanto vero che il capitale iniziale richiesto per la realizzazione di un nuovo impianto è estremamente elevato. Si tratta infatti di strutture molto complesse che richiedono sistemi di sicurezza ridondanti che, come intuibile, non fanno altro che far lievitare i prezzi.

Un altro svantaggio è il tempo di costruzione di una nuova centrale. Nel 2020 il tempo medio per costruire una centrale nucleare è di circa 84 mesi (7 anni). Tale tempo cambia per ogni caso specifico, ci sono centrali che hanno richiesto più di 10-15 anni per entrare in funzione.

Non meno importante è infine il fatto che la fissione nucleare genera scorie che devono essere smaltite in modo opportuno; il loro difficile smaltimento e gli incidenti come quelli di Chernobyl (1986) e Fukushima (2011) sono i principali motivi delle riserve nei confronti del nucleare di ampie fasce della popolazione.

LE CENTRALI NEL MONDO

Negli ultimi anni la tecnologia ha fatto passi avanti; in un lasso di tempo relativamente breve si è passati dai **reattori sperimentali** di prima generazione, come quello di Latina del 1963, a quelli di **quarta generazione**, in via di sperimentazione, che sembrano essere in grado di risolvere persino il problema delle scorie; non solo quelle future, ma anche quelle esistenti.

*Oggi nel mondo ci sono **440 centrali**, quasi tutte di seconda generazione, progettate negli ultimi 15-20 anni, dunque abbastanza recenti e tutto sommato ben funzionanti, dichiara Marco Ricotti, docente di impianti nucleari al Politecnico di Milano, aggiungendo poi che la produzione di energia di questi impianti è pari al 10% dell'energia elettrica complessiva, tuttavia questa percentuale si alza nei paesi più avanzati; l'Europa, che ha oltre 100 reattori, produce quasi un terzo di energia elettrica da fonti nucleari, numero significativo.*

LE GENERAZIONI DEI REATTORI

Per indicare le generazioni dei reattori non ci sono in realtà classificazioni ufficiali. Come spiega il Dott. Ricotti, vengono genericamente indicati come reattori di

- **prima generazione** quelli nati negli anni '60-'70, reattori quindi di piccole dimensioni, dell'ordine di 300 megawatt (MW, o milioni di watt) di potenza.
- La **seconda generazione** si è sviluppata dopo questa fase un po' pionieristica, ed è caratterizzata da reattori sempre più grandi, in grado di ridurre i costi sulla base di un'economia di scala: il nucleare, al contrario dei combustibili fossili, richiede infatti un elevato investimento iniziale per costruire l'impianto, mentre il funzionamento costa relativamente poco.
- Negli anni '80 e '90 vennero sviluppati reattori da 1.200-1.300 MW, come quello di Montalto di Castro, in seguito sospeso dopo il referendum, e il tristemente noto reattore di Fukushima in Giappone. La maggior parte dei reattori esistenti è di questo tipo. In molti casi il loro tempo di vita viene esteso di 10-20 anni a fronte di miglioramenti in termini di combustibile, componenti e sicurezza.
- Reattori di **terza generazione** vengono progettati soprattutto a partire dal 2000, per esempio gli AP1000 negli Stati Uniti, i VVER-1200 in Russia, gli EPR francesi ed anche in Cina nuove macchine son in via di sviluppo.
- Nel mondo ci sono 50 reattori in costruzione che rispetto alla generazione precedente presentano un progetto migliore: sono aumentate le taglie (fino a 1.600 MW), ma soprattutto è stato introdotto il **concetto di sicurezza passiva**.

L'idea è semplice quanto rivoluzionaria: invece di avere impianti di emergenza aggiuntivi che si attivano se qualcosa va storto, si fa uso di fenomeni naturali come la **circolazione spontanea dei fluidi di raffreddamento**, che quando sono più caldi si spostano verso l'alto e quando sono più freddi scendono verso il basso, chiudendo il ciclo. Questi sistemi permettono di prevenire il raggiungimento della massa critica del materiale radioattivo in caso di malfunzionamento, come una sorta di "tappo" in grado di far defluire il combustibile dal reattore.

Il Dott. Ricotti enfatizza come con questi sistemi di sicurezza, probabilmente l'incidente di Fukushima sarebbe stato evitato, ricordando come in quel caso il sistema di emergenza di raffreddamento del reattore, alimentato a gasolio, fosse stato messo fuori uso da un'ondata di tsunami. Un sistema passivo avrebbe continuato a funzionare.

LE NOVITÀ DELLA TERZA GENERAZIONE

Tra i reattori di terza generazione, ci sono però anche altre soluzioni sul tavolo. Nel giro di 10-15 anni, si dovrebbero avere anche i cosiddetti **Small Modular Reactors**, cioè piccoli reattori di 100-300 MW, come quelli di prima generazione; ciò potrebbe sembrare un passo indietro, ma non è così: tutta la progettazione di questi nuovi prototipi è cambiata. Molti componenti che prima erano collocati al di fuori dal reattore come pompe, generatore di vapore, ora sono integrati in un'unica struttura che semplifica il design e consente di adottare più facilmente sistemi di sicurezza passiva. In aggiunta, essendo piccoli, questi reattori costano meno e quindi hanno un rischio finanziario inferiore. Tramite un esempio pratico possono essere immaginati come le costruzioni "LEGO", in quanto costituiti da **pezzi standardizzati da assemblare sul posto**, che non richiedono enormi cantieri. Ciò consentirebbe la costruzione di grandi centrali formate da moduli più piccoli aggiunti nel tempo.

A questa generazione appartengono anche i **microreattori**, che sono ancora più piccoli (da 1 a 10 MW) e semplici da costruire della tipologia Small Modular. Essi sono pensati per obiettivi specifici, come miniere, strutture situate in luoghi isolati o impervi, per fornire energia ad aree solitamente non raggiunte dalla rete nucleare; questi microreattori, infatti, potrebbero essere contenuti in un container ed essere trasportati dove serve.

Dunque questa terza generazione permette di risparmiare su ben tre fronti differenti: i costi, i tempi tra il finanziamento e l'entrata in funzione, infine lo spazio occupato sul terreno. Semplificando: questi reattori hanno bisogno di meno manutenzione, date le dimensioni ridotte, e al tempo stesso sono più sicuri, grazie ai sistemi di sicurezza passiva sopracitati. Essi possono inoltre essere costruiti nel sottosuolo, in pozzi profondi decine di metri, riducendo i rischi di potenziali attacchi terroristici o militari, oltre al rilascio accidentale di radiazioni. Un'altra peculiarità fondamentale di questi reattori risiede nella modularità, indicata anche dal nome: il quantitativo di energia prodotto se ritenuto insufficiente può essere adattato affiancando un'altra unità.

Per quanto concerne con precisione i costi, si può far riferimento al Rolls-Royce SMR, progettato dall'omonima casa automobilistica britannica di lusso. I reattori di questa serie avranno un costo finale stimato di 2,14 miliardi di euro, decisamente meno, rispetto ai soliti 26,20 miliardi di euro previsti per le centrali tradizionali.

Nonostante i numerosi vantaggi di questi impianti persistono delle problematiche, legate soprattutto al trasporto dei reattori dal luogo di fabbricazione a quello di installazione. Va inoltre considerato che tanti piccoli reattori, dai costi ridotti, possono favorire la proliferazione nucleare in più paesi, col rischio di alimentare gli armamenti atomici.

- La linea più avanzata della ricerca riguarda però **la quarta generazione**. In questo caso, la differenza principale è nel cuore del reattore. Infatti gli impianti attuali si basano tutti su un'idea che risale a Enrico Fermi: immergere le barre di combustibile nell'acqua per raffreddarle e al tempo stesso per rallentare la velocità dei neutroni emessi dalle reazioni, che si muovono da una barra all'altra. Così facendo, come aveva capito Fermi, aumenta la probabilità di fissione del combustibile principale usato, l'uranio-235. In questo modo la combustione nucleare avviene meglio.

I reattori fino alla terza generazione, basandosi su quest'idea, si dice dunque che usino neutroni "lenti". Quelli di quarta generazione, invece, usano neutroni veloci, senza l'impiego delle barre immerse nell'acqua. Questi reattori devono essere raffreddati in modo diverso, si pensa soprattutto a metalli liquidi (sodio, piombo o sali fusi) che scambiano molto bene il calore, o a gas ad alta temperatura. Si tratta di sistemi più complicati e costosi, ancora in via di sviluppo, ma apparentemente promettenti.

IL RICICLO PERFETTO

La parte più interessante di questa tecnologia è che essa consente di usare combustibili nucleari molto più diffusi (l'uranio-235 è infatti raro e costoso) e perfino di avere neutroni in eccesso che possono essere utilizzati anche per "bruciare" i rifiuti nucleari più pericolosi, gli elementi transuranici, che hanno un tempo di vita molto lungo.

Su questo fronte è molto avanti la Russia, dove entro il 2029 si dovrebbe ultimare un reattore dimostrativo; in Russia si sta costruendo in realtà un impianto triplo: uno che genera energia, uno che separa i rifiuti (composti da un mix di elementi) e uno che li inserisce nel nuovo combustibile da bruciare nel reattore. In caso di successo si porterebbe il tempo della radiotossicità del combustibile esaurito da 100.000 anni a 300 anni, e non ci sarebbe più bisogno di individuare siti geologici stabili e profondi per la loro conservazione.

A ciò si aggiungerebbe un altro vantaggio: l'uranio-235 e il plutonio usati negli attuali reattori possono trovare applicazione anche nello sviluppo di armi atomiche. Usando altri combustibili, i reattori di quarta generazione potrebbero dunque sollevare meno problemi di natura geopolitica.

RIFIUTI NUCLEARI E INDUSTRIALI A CONFRONTO

Tornando ai rifiuti, si ritiene comunque che già oggi il problema, per quanto innegabile, sia più contenuto di quanto appaia: ogni anno l'Europa produce milioni di tonnellate di rifiuti tossico-nocivi (arsenico, mercurio ecc.) attraverso le attività industriali, i rifiuti nucleari, sempre in Europa, ammontano a migliaia di metri cubi. Si tratta quindi di ordini di grandezza di differenza e i rifiuti chimici non sono sicuramente meno pericolosi. Concludendo possiamo affermare che la dimensione del problema è spesso sopravvalutata e ricordare che, fino a ieri, per i rifiuti radioattivi più pericolosi non c'era soluzione.

SITOGRAFIA:

USNRC. (20.03.2020), *Radiation Basics*. Link:
<https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html>

ANS.(03.03.2022), *Radiation*. Link:
<https://www.ans.org/nuclear/radiation/>

RadioactivityEU. *Radioactive nuclei emit three types of radiations*. Link:
https://radioactivity.eu.com/phenomenon/alpha_beta_gamma

Energy Education. *Beta Decay*. Link:
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Beta_decay

Beta Analytic. *Datazione al radiocarbonio: un'introduzione*. Link:
<https://www.radiocarbon.com/italiano/datazione-al-carbonio.htm>

Fondazione Veronesi. (06.06.2013), *Che cosa sono i radiofarmaci e a cosa servono?* Link:
<https://www.fondazioneveronesi.it/magazine/articoli/lesperto-risponde/che-cosa-sono-i-radiofarmaci-e-come-funzionano#:~:text=Cannizzaro%20di%20Catania-%20radiofarmaci%20sono%20molecole%20che%20contengono%20al%20loro%20interno%20un,trasporto%2C%20ed%20il%20nuclide%20radioattivo.>

Humanitas. *Scintigrafia ossea globale*. Link: <https://www.humanitas.it/visite-ed-esami/scintigrafia-ossea-globale-scheletrica/>

Endocrinologia oggi. (20.10.2011), *Terapia Radiometabolica (Radio-Iodio)*. Link:
<https://www.endocrinologiaoggi.it/2011/10/terapia-radiometabolica/>

AIRC. (21.10.2020), *Radioterapia*. Link:
<https://www.airc.it/cancro/affronta-la-malattia/guida-alle-terapie/radioterapia>

Focus. (27.01.2022), *Energia nucleare: i reattori di IV generazione sono "puliti"?* Link:
<https://www.focus.it/scienza/energia/energia-nucleare-i-reattori-di-iv-generazione-sono-puliti>

Fanpage. *I micro reattori sono il futuro dell'energia nucleare: come funzionano*: Link:

<https://www.fanpage.it/innovazione/scienze/i-micro-reattori-nucleari-sono-il-futuro-dellenergia-nucleare-cosa-sono-e-come-funzionano/>

Geopop. *Pro e contro dell'energia nucleare spiegati in modo semplice*. Link:
<https://www.geopop.it/pro-e-contro-dellenergia-nucleare-spiegati-in-modo-semplce/>

Greelane. (08.05.2019), *Come funziona il tuo rilevatore di fumo?* Link:
<https://www.greelane.com/it/scienza-tecnologia-matematica/scienza/how-do-smoke-detectors-work-602181/>

Spiegato. *Cosa sono i rilevatori di fumo a ionizzazione?* Link:
<https://spiegato.com/cosa-sono-i-rilevatori-di-fumo-a-ionizzazione>

SCIENZA E POTERE: DAL MONDO ANTICO AD OGGI

IL MONDO ANTICO

Quando si parla di mondo antico, si fa riferimento al periodo che va dal VI sec a.C. al III sec. d.C. Né i Greci né i Romani disponevano di un solo concetto che corrispondesse esattamente a quello di 'scienza'; infatti, il vocabolo latino da cui quest'ultimo deriva, *scientia*, così come il corrispondente termine greco, *epistémē*, designano la conoscenza in generale, il sapere, e non solamente quello relativo ai fenomeni naturali. Certamente non si tratta di quella conoscenza acquisita attraverso un programma di ricerca sistematico basato su una metodologia convalidata, vale a dire 'scientifica'. Le indagini sui fenomeni che precedono la Rivoluzione Scientifica (Galilei) sono per lo più considerate 'prescientifiche'. Molti, tuttavia, ritengono che la filosofia naturale antica possa rientrare all'interno del campo di competenza della **storia della scienza**.

Nel dizionario Treccani si legge:

[dal lat. *scientia*, der. di *sciens scientis*, part. pres. di *scire* «sapere»].

1. Il fatto di sapere, di conoscere qualche cosa; *come 'l mio corpo stea nel mondo sù, nulla scienza porto* (Dante) →scenziato poteva essere chiunque fosse colto;
2. a. Sapere, dottrina, insieme di conoscenze ordinate e coerenti, organizzate logicamente a partire da principî fissati univocamente e ottenute con metodologie rigorose, secondo criterî proprî delle diverse epoche storiche: *la sc. è ultima perfezione de la nostra anima* (Dante);

Oggi, con l'espressione SCIENZE NATURALI si intende: l'insieme delle discipline fisiche, chimiche e naturali che si occupano delle diverse caratteristiche fisiche e inorganiche del globo terrestre (geofisica, geochimica, mineralogia, petrologia, vulcanologia, geografia fisica, geologia, etc. ...).

A differenza del mondo odierno, nell'antichità non esisteva alcuna istituzione che gestisse l'evoluzione e lo sviluppo dei vari ambiti della scienza perché il termine non designava ciò che designa oggi, bensì stava ad indicare il sapere generale, come abbiamo già detto; pertanto non esisteva lo scenziato come professione vera e propria; l'acquisizione del sapere era bensì sostenuta da attività quali il mecenatismo, che può senza dubbio essere considerato la prima dimostrazione del legame tra sapere e potere.

Il mecenatismo indica la forma di sostegno economico e materiale da parte di sovrani, signori, aristocratici e possidenti, coloro insomma che detenevano il potere, nei confronti di artisti, letterati, pittori, scultori, musicisti, coloro che sapevano, i quali, a fronte della relativa libertà di produrre le proprie opere, usavano contraccambiare tale sostegno ponendo per esempio la propria arte al servizio del potere rappresentato dai loro benefattori, dando così prestigio alle loro corti. Vale la pena di ricordare tuttavia che questi ambiti rientrano nell'ambito delle *artes*, dunque saper fare tecnici, applicazioni pratiche, che non hanno solo in parte a che vedere con la speculazione, che invece rimane abbastanza libera.

L'idea della scienza come possibilità di miglioramento del benessere materiale dell'uomo non si era ancora sviluppata, pertanto il sapere e la tecnica non erano collegati fra loro; non c'era alcuna separazione dei saperi, almeno fino all'età ellenistica e alla nascita delle diverse scuole filosofiche. Il dibattito era perlopiù aperto e volto alla valutazione di idee personali, e non di dati empiricamente dimostrabili; si trattava dunque di un sapere certo non ancora basato su leggi osservabili. Grande era quindi la deferenza per l'*auctoritas*, la tradizione, l'*ipse dixit*.

SEPARAZIONE TRA SCIENZA E TECNOLOGIA

Dai testi antichi emerge chiaramente la distinzione tra la scienza pura come attività di alto livello, riservata alla classe superiore che detiene una solida formazione culturale, e la tecnica, che essendo un'attività pratica, è riservata ad artigiani, i cui nomi spesso rimangono nell'ombra e che affidano il funzionamento delle proprie invenzioni all'oralità. I Greci provarono una certa avversione per le scienze applicate, che infatti chiamarono *banausikòn*, "adatto agli artigiani", dall'aggettivo βαναυσικός che significa manuale. Le quattro scienze 'tecniche', l'aritmetica, la geometria, l'astronomia e la musica (*quadrivium*, se vogliamo utilizzare il termine medievale), non sono mai state infatti oggetto dell'insegnamento di base impartito ai giovani delle classi sociali elevate.

L'insegnamento ordinario delle classi alte, dei potenti, non aveva a che fare con nulla se non con l'intelligibile, ovvero la forma teorica che potesse indirizzare gli uomini dotati di intelletto alla conoscenza di verità immobili e immutabili, artefici dell'ordine dell'Universo, κόσμος. Tali principi originari, archetipi, avrebbero poi ricondotto a tutti i fenomeni naturali, ma solo in un secondo momento. Essi venivano studiati da filosofi come Parmenide, Platone, Aristotele, etc. ...

Infatti la fisica si occupa di enti che esistono separatamente ma non sono immobili, e dal canto suo, la matematica si occupa di enti che sono sì, immobili, ma che forse non esistono separatamente e sono come presenti in una materia, invece la "scienza prima" si occupa di cose che esistono separatamente e che sono immobili. E se tutte le cause sono necessariamente eterne, a maggior ragione lo sono quelle di cui si occupa questa scienza, giacché esse sono cause di quelle cose divine che si manifestano ai sensi nostri. Quindi ci saranno tre specie di filosofie teoretiche, cioè la matematica, la fisica e la teologia, essendo abbastanza chiaro che, se la divinità è presente in qualche luogo, essa è presente in una natura siffatta, ed è indispensabile che la scienza più veneranda si occupi del genere più venerando.

(Aristotele, *Metafisica*, VI (E), 1026, a 18-21)

La storia che va dall'antichità ad oggi ci fornisce la dimostrazione del fatto che la scienza, essendo sapere, era racchiusa prettamente nella cultura, la quale fiorisce là dove si trova il potere e si isterilisce nei luoghi che il potere abbandona. Gli esempi eclatanti di questa correlazione sono stati l'abbandono da parte delle scienze e delle arti del territorio della Grecia antica, dopo che questa aveva perso la propria indipendenza in seguito alle conquiste macedoni prima e romane poi.

Le vicende legate al potere e alle istituzioni politiche e quelle della cultura presentano di conseguenza uno sfasamento temporale. Quello della nascita, dello sviluppo e della morte di un sapere è un processo lento, che presuppone alla base una società colta e una tradizione che il potere non può decretare da un giorno all'altro e che preserva la sua influenza sul pensiero anche dopo che la situazione di potere è mutata. Infatti la fioritura della cultura greca è continuata relativamente a lungo anche dopo la fine della Guerra del Peloponneso, tanto che ancora oggi la si studia.

Alcuni spunti di comprensione della stretta connessione che lega il potere e la scienza ci vengono forniti anche da alcuni testi latini, per esempio da un autore latino vissuto nel I sec d.C., Petronio, il quale nel *Satyricon*, ci racconta la novella del vetro infrangibile, dove Trimalchione alla sua cena sfarzosa vuole intrattenere gli invitati e racconta loro una storia.

C'era una volta un artigiano che fece una coppa di vetro infrangibile. Egli fu ammesso, dunque, col suo dono al cospetto dell'Imperatore. Davanti ad esso prese la coppa e la scaraventò sul pavimento. Il Cesare si spaventò come più non si potrebbe, temendo che il vetro andasse in frantumi, ma quello sollevò da terra la coppa, essa si era ammaccata neanche fosse un vaso di bronzo, l'artigiano tirò fuori dal taschino un martelletto e con calma diede una bella aggiustata alla coppa. Fatto ciò, credeva di tenere Giove per le palle, specialmente dopo che l'Imperatore gli disse: "C'è qualcun'altro che ha questo modo di lavorare il vetro?". Adesso fate attenzione. Non appena gli astanti dissero di no, l'Imperatore decretò che all'artigiano fosse tagliata la testa; intuì infatti immediatamente che se si fosse sparsa la voce di questa invenzione, il bronzo avrebbe avuto lo stesso valore del fango.

In questa buffa narrazione si nasconde una sconvolgente analisi dei meccanismi di potere ed economici che regolano da sempre la società. Quella che compare tra l'artigiano e l'imperatore è l'eterna lotta tra innovazione e conservazione, tra chi crede che il progresso debba servire al bene collettivo e chi invece fa di tutto per impedirlo, a proprio vantaggio. L'artigiano è un inventore, un individuo che ha messo tutto sé stesso nel tentativo di poter cambiare le cose in meglio. Dalle sue mani sarebbe potuta nascere una rivoluzione. In un mondo come quello romano, dove la proprietà di beni durevoli distingueva il ricco dal povero, la possibilità di produrre a bassi costi e dare a tutti maggior possibilità per acquistare avrebbe ridotto notevolmente le differenze sociali. Il vetraio non ha fatto i conti con il volere dei potenti. L'imperatore comprende subito che se un popolo accede alle risorse, la figura di garante del bene comune, cioè il regnante, può essere messo in difficoltà. Una semplice invenzione potrebbe far vacillare un impero.

La soluzione è dunque soltanto una: togliere di mezzo coloro che sono in grado di fare e far finta di niente, continuare a mantenere lo *status quo* sociale.

Cos'è cambiato oggi? Nulla! Chi ha in mano il potere sa come sfruttarlo al meglio. Il genocidio delle menti non ha bisogno delle armi. Basta una buona propaganda, ben progettata, per convincere la maggior parte dell'opinione pubblica che è giusto così e che non esistono altre possibili realizzazioni di realtà differenti.

L'artigiano ha commesso però un errore: avesse intuito che il sapere, una volta largamente diffuso, è molto più difficile da debellare e che i potenti a lungo andare non riescono a sopprimere la moltitudine di cervelli che 'sanno', avrebbe reso possibile la fioritura della sua geniale invenzione.

L'ETÀ IMPERIALE

Lucio Anneo Seneca è un autore latino dell'età imperiale che per la maggior parte della sua vita ha vissuto a stretto contatto con il potere dei Cesari; in particolare fu insegnante e consigliere di Nerone fino alla deriva assolutistica del suo principato nel 62 d.C. Proprio in quegli anni Seneca decise di ritirarsi nella contemplazione lasciando così gli ambienti della corte imperiale. Durante il suo ritiro dalla politica compose le *Naturales Quaestiones*, opera volta all'analisi dei fenomeni naturali. L'opera, dedicata a Lucilio, è un trattato dossografico meteorologico, vale a dire un testo che prende in esame diverse teorie in merito alle cause di alcuni fenomeni intra lunari, cioè che capitano sulla Terra o fra la Terra e la Luna: questo ambito, definito appunto meteorologico, comprende, secondo la fisica aristotelica, il mondo della caducità e della corruzione, mentre i pianeti oltre l'orbita lunare appartengono all'universo perfetto e incorruttibile. In questo trattato, composto da sette libri che contengono l'analisi di fenomeni naturali, Seneca riporta anche alcune tesi di scienziati precedenti. Si tratta di un'opera originale per via della sua concezione di scienza come patrimonio in continuo sviluppo e funzionale al perfezionamento etico dell'uomo. Il trattato si occupa di:

1. fuochi celesti (arcobaleni, eclissi e simili);
2. tuoni e fulmini;
3. acque terrestri;
- 4.a piene del Nilo,
- 4.b pioggia e grandine;
5. venti;
6. terremoti;
7. comete.

Per ciascun fenomeno Seneca presenta una descrizione, un elenco di teorie che ne illustrano la dinamica scientifica, e la propria posizione, perlopiù ricondotta all'adesione ad una teoria già nota, ma supportata da qualche nuovo argomento: di qui l'attributo di 'dossografico' in relazione al trattato, cioè "relativo ad un elenco di opinioni." Questo genere letterario, pur molto frequentato, potrebbe apparire anomalo per un autore tanto interessato al primato dell'etica; esso invece è pienamente in linea con le finalità del filosofo: scopo del libro, infatti, sulla scia del *De rerum natura* di Lucrezio, è attenuare i timori superstiziosi dell'uomo fornendo spiegazioni scientifiche dei fenomeni. Non a caso, in ogni libro sono presenti digressioni moralistiche che illustrano le implicazioni etiche delle argomentazioni.

Nelle *Naturales Quaestiones* si evidenzia inoltre come nel mondo latino scienza e tecnica non fossero unite da nessun tipo di legame, la scienza era una pura speculazione teorica che non veniva applicata a livello tecnico. Nel primo libro intitolato I fuochi celesti è presente una riflessione sul concetto di filosofia intesa come logos stoico. Il termine filosofia deriva dal greco *philosophía*: *philia* (amore) e *sophia* (sapienza), ossia 'amore per il sapere'. Questo termine è in realtà quello che più si avvicina al concetto di scienza del giorno d'oggi; questa, secondo Seneca, è composta da una parte umana e più accessibile e da una parte che concerne agli dei che tende verso ciò che la natura ha posto al di fuori della vista degli uomini. Dopo aver delineato le due parti differenti che compongono la filosofia, l'autore sposta il focus della sua riflessione sul concetto di 'limite della filosofia', e quindi di scienza. Secondo Seneca per arrivare ad un sapere teorico completo è necessario lasciarsi assorbire completamente dalla conoscenza fino a conoscere l'immensa grandezza di Dio. Il compimento di questa operazione implica necessariamente il superamento dei limiti imposti dalla concezione terrena. In maniera analoga ne parlerà anche Dante nel primo canto del *Paradiso*, in cui con l'utilizzo del termine 'trasumanare' riporta al superamento della condizione umana per arrivare alla conoscenza di Dio. Tuttavia è presente una differenza sostanziale che deriva dal contesto storico in cui questi due personaggi vivono: Seneca si trova in un contesto pagano influenzato dai culti misterici, per questo motivo l'avvicinarsi alle divinità e l'elevarsi ad una condizione ultraterrena era concepito in maniera positiva, tanto che proprio in età imperiale venne istituita la pratica della divinizzazione degli imperatori. Al contrario Dante si trova in un contesto monoteistico in cui la religione cristiana prevedeva il culto di un unico Dio trascendente, di conseguenza l'oltrepassare la condizione umana era considerato un atto trarrai verso Dio.

[16] *Quanta importanza attribuisce al conoscere queste cose e a determinare i limiti delle cose, al sapere quanta sia la potenza di Dio, se Egli stesso si crei la materia o se utilizzi una materia che gli è stata data, quale delle due realtà abbia preceduto l'altra: se la ragione si sia aggiunta alla materia o la materia alla ragione, se Dio faccia tutto ciò che vuole o se <in> molte circostanze le cose che deve realizzare lo deludano e dalle mani del grande artefice escano molte opere difettose, non perché l'arte venga meno, ma perché la materia su cui si esercita l'arte oppone resistenza?*

[17] *Esaminare a fondo questi problemi, studiarli, lasciarsi assorbire totalmente da essi non significa forse oltrepassare i limiti della propria condizione mortale e passare in una condizione migliore? «Che giovamento ne trarrai?», chiedi. Se non altro, certamente questo: mi renderò conto della limitatezza di tutte le cose, quando avrò misurato Dio.*

Oltre a fornire una spiegazione riguardo al tendere alla conoscenza teorica infinita dell'uomo attraverso l'avvicinamento al logos stoico, Seneca riporta alcuni esempi di applicazione tecnica della filosofia dimostrando come questa, se utilizzata a livello pratico, necessita di essere limitata da chi sta al potere.

Ostio Quadra era uno schiavo ricco e avaro che era stato ucciso dopo aver utilizzato la scienza per fini pratici e soprattutto per lusso e piacere personale. Lo schiavo aveva fatto costruire degli specchi con una caratteristica particolare: riflettevano immagini molto più grandi del vero, così nei momenti in cui lui si rifletteva durante le sue performance con uomini e donne poteva provare piacere nel vedere le sue parti del corpo molto più grandi.

[...] ma ciò nonostante si diletta a stimolare con immagini illusorie le sue voglie sfrenate: ora vieni a dirmi che lo specchio è stato inventato per motivi di pulizia e di eleganza.

Alla base di questo episodio c'è l'intento pedagogico e persuasivo tipico di Seneca che intende dimostrare come nel momento in cui la scienza teorica si unisce all'applicazione tecnica, anticipazione della rivoluzione astronomica, sia fondamentale porre dei limiti da non oltrepassare, in quanto l'uomo da solo per natura non è in grado di controllare le proprie passioni e tende ad utilizzare la scienza per puri fini personali, per soddisfare i propri desideri ed elevare la sua fama, discostandosi totalmente dal concetto di scienza intesa come amore per il sapere e talvolta danneggiando l'intera società. La scienza pratica nel caso di Ostio Quadra non ha più un fine di sussistenza, ma tende a soddisfare desideri superflui dello schiavo.

Inoltre, proprio come nella novella del vetro infrangibile di Petronio, Seneca cerca di mettere in luce come il potere svolga un ruolo essenziale nella gestione del sapere. Quest'ultimo infatti una volta applicato alla realtà attraverso la tecnica comincia a diffondersi e spesso diventa difficile fermarlo. Stabilire dei limiti è di primaria importanza anche per evitare l'utilizzo scorretto del sapere scientifico che può portare a situazioni pericolose per l'umanità, come di fatto accadrà con la creazione della bomba atomica.

Riassumendo quindi, Seneca ha una visione positiva del progresso ed è a favore del sapere scientifico illimitato quando si riferisce all'ambito puramente teorico, al contrario quando si parla di applicazione tecnica del sapere il filosofo di Cordova sostiene che sia necessario porre dei limiti.

DAL MEDIOEVO ALLA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA

Durante l'antichità forte era la dicotomia tra materia e spirito. La prima era incarnata dalla tecnica e la seconda dalla scienza, in quanto la tecnica si occupava di applicare le nozioni teoriche alla soluzione delle esigenze quotidiane, mentre la scienza, ovvero la filosofia, sondava l'origine della vita e il fine ultimo dell'esistenza. Proprio in virtù del diverso oggetto di studio della filosofia, a quest'ultima veniva attribuita maggiore dignità. Studi recenti dimostrano come tale frattura tra teoria e pratica cominciò a ricomporsi nel corso del medioevo, quando la considerazione positiva di Platone per la meccanica, in quanto figlia della matematica, e la concezione di Agostino sull'utilità delle arti pratiche per la salvezza individuale portarono al superamento della dicotomia teoria-pratica. I primi attori di questo passo furono i monaci benedettini che applicavano il motto *Ora et Labora* nella loro regola, come strada verso la salvezza individuale, ad esempio nel caso dell'attività amanuense. In epoca carolingia fu coniato il termine *artes mechanicae* con cui si definivano le sette arti liberali e le sette arti meccaniche. Tuttavia questa locuzione acquisì subito accezione negativa nel senso di attività artificiali, quindi ingannevoli rispetto a ciò che naturale (dal greco *moichos*). Una tappa decisiva nel percorso di accettazione delle attività manuali si ebbe nel XII secolo grazie alle idee di Ugo di San Vittore, che classificò le scienze dividendo la filosofia in quattro grandi pari: teoretica (ricerca della verità), pratica (disciplina dei costumi), meccanica (attività utili alla vita), logica (per parlare e discutere con finezza e acume).

La meccanica era divisa a sua volta in sette arti tra le quali tre riguardavano l'esterno del corpo: *lanificium* (lavorazione della lana e degli abiti), *armatura* (armamento), *navigatio* (navigazione e commercio); quattro riguardavano invece l'interno del corpo: *agricultura*, *venatio* (caccia e alimentazione), *medicina* e *theatrica* (spettacoli e giochi d'azzardo). L'attività artigianale nonostante fosse ancora considerata ingannevole, poiché cercava di imitare la natura, tuttavia cominciò a divenire un mezzo per comprendere la creazione di Dio.

Durante il medioevo era la Chiesa a detenere il potere e a porre in atto strategie per mantenerlo, rallentando a volte il progresso e la diffusione delle conoscenze scientifiche. A fronte delle continue scoperte ed invenzioni, sarebbe inesatto parlare dell'età medievale come di un periodo sterile per la scienza. Occorre comunque tenere a mente la difficoltà degli scienziati nel progredire verso la verità a causa dei dogmi imposti dalla Chiesa. È interessante quindi individuare alcuni passaggi che portarono dal medioevo alla rivoluzione scientifica del Seicento.

Fino all'età carolingia la scienza era appannaggio dei monasteri e aveva come focus l'osservazione passiva dei fenomeni naturali interpretati secondo la visione cristiana che affermava la presenza di Dio nel mondo. Lo scopo quindi della filosofia della natura era di giungere all'essenza degli elementi principali come fuoco, acqua, terra, aria.

Proprio in questo periodo nacquero le prime università (la prima nel 1088 a Bologna), in cui si svilupperà un particolare tipo di filosofia, quella scolastica, che univa ragione e fede cristiana.

La Chiesa cattolica accettò come vero, in campo astronomico, il sistema geocentrico di Tolomeo, in quanto esso poneva la terra al centro dell'universo e il sole e le stelle nelle orbite intorno. Tale sistema fu imposto dalla Chiesa come unico e vero fino al 1543, quando grazie a Copernico tale teoria venne superata. Questi dogmi cristiani vennero messi in discussione da un frate domenicano, conosciuto con l'appellativo di Giordano Bruno. Sebbene sprovvisto di un supporto scientifico o matematico, Bruno concepì un'idea dell'universo del tutto rivoluzionaria: cancellò le colonne d'Ercole e immaginò un universo senza fine, ipotizzò l'esistenza di altri mondi migliori e più evoluti della terra, considerando la natura come un'entità perennemente vivente. Giordano Bruno tolse quindi l'uomo dal centro del mondo, tesi che la Chiesa si era impegnata a mantenere per secoli, mettendo a tacere vari personaggi che finirono per essere considerati eretici. La stessa sorte toccò anche a Giordano Bruno, il quale dopo essersi rifiutato di rinnegare le proprie tesi, venne condannato al rogo dopo sette anni di carcere.

Questa non fu l'unica voce che nella seconda metà del '500 mise in discussione il sistema tolemaico. Lo studioso polacco, Copernico, osservò ad occhio nudo che il sole immobile era al centro dell'universo e che la terra insieme ad altri sei pianeti gli orbitava intorno. La Chiesa rispose con la condanna dell'opera di Copernico, poiché non rispettava quanto affermato nelle sacre scritture.

Questi studi di astronomia continuarono con Keplero e vennero poi ripresi e confermati dall'osservazione con il cannocchiale di Galilei, il quale non solo confermò le teorie copernicane, ma scoprì l'esistenza di altri quattro pianeti.

Ciò portò all'ennesimo scontro con la Chiesa che costrinse lo scienziato toscano dopo una prima ammonizione del 1616 ad abiurare nel 1633, ovvero a ricusare la propria dottrina.

La pubblicazione di un altro trattato riguardo le ipotesi di Copernico e il seguito che la dottrina di Galilei aveva avuto condannarono lo scienziato una seconda volta. La Chiesa costrinse Galilei a rinnegare i suoi studi e a ritirarsi a vita privata. La sua ultima opera, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* fu tradotta e portata clandestinamente in Olanda. Tale opera diede luce alla fisica moderna e segnò la nascita di un nuovo metodo scientifico attendibile, in quanto fondato su dimostrazioni oggettive e osservabili empiricamente.

IL NOVECENTO

Anche nel corso del Novecento il rapporto tra scienza e potere è stato particolarmente complicato: molti sono stati gli scienziati vittime del potere, soprattutto durante i regimi totalitari, come quelli instaurati in Germania, in Italia e in Unione Sovietica, Paesi dai quali moltissimi studiosi dovettero emigrare per poter continuare liberamente le proprie ricerche.

Per lo stesso autore dei saggi qui tradotti, Werner Heisenberg, le difficoltà iniziarono a partire dall'ascesa di Hitler al potere. Nel 1937 il professor Arnold Sommerfeld aveva indicato Heisenberg come suo successore alla cattedra di Fisica teorica a Monaco, ma i rappresentanti della cosiddetta fisica ariana glielo impedirono. L'ostilità dei nazionalsocialisti nei confronti dei fisici ebrei e delle nuove teorie fisiche, ovvero la teoria della relatività e la meccanica quantistica, costrinse Heisenberg, l'ebreo bianco, a rinunciare alla cattedra in quanto, sebbene ariano, troppo vicino alle nuove teorie fisiche, considerate costituenti della fisica ebraica e quindi invise alla propaganda del governo nazista.

Le sue frequentazioni con scienziati ebrei, il rifiuto di un'esplicita presa di posizione a favore di Hitler e la sua vicinanza ai colleghi ebrei espulsi dalle università tedesche sottoposero Heisenberg a duri controlli nel 1938 da parte della Gestapo.

Allo scoppio della Seconda guerra mondiale lo scienziato vide nella recente scoperta di Otto Hahn della fissione nucleare l'occasione per dimostrare il valore e l'utilità della fisica teorica. Entrò così a far parte del gruppo di scienziati che avrebbero dovuto realizzare un reattore nucleare ed eventualmente la bomba atomica.

Durante questo periodo, come riportato nei suoi saggi, Heisenberg era turbato e profondamente dibattuto tra l'idea di consegnare la terribile arma di distruzione di massa nelle mani di Hitler e quella che i nemici del popolo tedesco potessero utilizzarla contro la stessa Germania. Egli non si era mai occupato di politica, ritenendo che la scienza dovesse rimanere fuori dagli intrighi governativi, e cercò, per quanto possibile, di concentrare le sue ricerche verso un utilizzo civile post bellico dell'energia atomica, auspicando che la guerra sarebbe finita prima della concreta possibilità di sfruttare tale energia per il conflitto.

Nel 1942 venne chiamato a dirigere il Programma nucleare tedesco, ma a seguito di un suo errore di calcolo relativo alla massa critica dell'Uranio, necessario per la realizzazione dell'ordigno bellico, il governo del Reich interruppe tali ricerche e impose ai fisici di proseguire gli studi solo per la costruzione di un reattore. Non sapremo mai se l'errore di Heisenberg, a tutt'oggi inspiegabile, fosse realmente dovuto ad un calcolo errato oppure al tentativo di ritardare il più possibile la costruzione della bomba. Nell'aprile del 1945, mentre fuggiva da Hechingen, dove lavorava al reattore nucleare, Heisenberg venne arrestato insieme ad altri nove fisici tedeschi dagli anglo-americani e detenuto per alcuni mesi in Inghilterra, dove gli alleati indagarono per conoscere lo stato dei lavori tedeschi sull'atomica.

Anche nei paesi democratici comunque diversi furono i casi di forti interferenze del potere sullo sviluppo scientifico, caso esemplare quello del giovane fisico David Bohm, allievo di Oppenheimer e ricercatore presso l'università di Princeton. A causa della sua adesione al Partito Comunista, nel 1949 fu accusato di presunte attività antiamericane e fu arrestato per oltraggio al congresso. Sebbene scagionato, l'università di Princeton non gli rinnovò il contratto di lavoro e Bohm venne costretto ad emigrare a San Paolo in Brasile e successivamente in Israele e nel Regno Unito. Nel 1952, realizzando quella che può essere definita la seconda rivoluzione quantistica, elaborò la teoria a variabili nascoste. Gli Stati Uniti avevano costretto all'esilio l'autore di uno dei più grandi successi della fisica teorica del dopoguerra.

Il difficile rapporto tra scienza e potere venne trasposto in chiave letteraria nel 1939 dal drammaturgo tedesco Bertolt Brecht, con la prima versione dell'opera *Leben des Galilei*. Lo scopo del testo non è ricostruire la vicenda storica dello scienziato toscano, ma quello di affrontare il tema della responsabilità dello scienziato in campo etico, filosofico e politico.

Secondo Brecht scienza e ragione generano progresso e sono entrambe democratiche perché chiare e accessibili a tutti. La scienza deve poter giungere a tutti e tutti devono potersi formare delle opinioni sulla base di argomenti validi e di prove.

Il Galileo di Brecht (come quello storico, peraltro) ha chiaro quale sia il dovere di ogni uomo di scienza nei confronti del resto della società. L'autore presenta l'abiura di Galileo da una parte come un tradimento nei confronti della società, privata della verità, dall'altra prova a giustificare l'atto dettato dall'oscurantismo del potere e dalla possibilità dello scienziato di salvare la propria vita e contemporaneamente proseguire i propri studi, se pur nella clandestinità.

Nella seconda versione dell'opera, composta dopo il lancio dell'atomica sul Giappone, il giudizio brechtiano sarà più severo nei confronti dello scienziato: con il suo Galileo lancerà un richiamo forte e chiaro alla necessità dell'impegno sociale e anche politico degli scienziati. Chi si sottrae, tradisce la scienza e la società.

SCIENZA E POTERE OGGI

La tecnica oggi è strettamente in contatto con la scienza. Il sapere scientifico non si concepisce più come invenzione individuale, ma, come sostiene Edoardo Boncinelli, ordinario presso l'Università Vita – Salute di Milano, si configura come:

un'impresa collettiva e progressiva volta a comprendere gli aspetti dei fenomeni naturali in modo da poterli comunicare a chiunque, per la divulgazione della conoscenza, limitando l'analfabetismo scientifico.

L'ingegno umano è capace di grandi invenzioni, le quali necessitando di formazione scientifica, apparecchiature e soprattutto grandi somme finanziarie rientrano nella possibilità delle grandi industrie e dello Stato. Gli scienziati devono quindi riconoscere che i loro programmi di ricerca si legano sempre di più ad aspettative pubbliche e private.

La scienza oggi costituisce non più un'attività contemplativa, appannaggio di pochi, che ne facevano un valore personale, ma rappresenta un valore sociale, un'attività nella quale le nazioni e i loro governi sono direttamente coinvolti. Fondamentale è la divulgazione del sapere scientifico, che si basa sul presupposto che il pubblico a cui si rivolge sia ignorante ma che allo stesso tempo voglia sapere. Diversi questionari hanno rivelato la scarsa istruzione scientifica della popolazione: nel 2002 più della metà dei cittadini statunitensi ritenevano che *l'homo sapiens* esistesse già ai tempi dei dinosauri. Nel 1991 solo il 6% riusciva a dare una risposta corretta su domande riguardanti le cause delle piogge acide. Nel 2000, solo la metà della popolazione statunitense riteneva che la Terra girasse attorno al Sole una volta l'anno.

La responsabilità di ciò è legata anche all'uso che il potere fa dell'informazione scientifica.

"L'ossigeno che respiriamo è prodotto dalle piante?" per molti brasiliani la risposta è "no" perché, grazie alla propaganda del governo, volta a smentire l'icona dell'Amazzonia come 'polmone del mondo', essi ritengono che l'ossigeno che respiriamo proviene dal plancton. L'avanzamento del benessere e il progresso tecnologico di matrice scientifica legano sempre più correnti politiche e i sistemi ideologici più diversi scienza e società.

Sempre più spesso un risultato scientifico viene considerato valido, promosso e finanziato nel momento in cui è in linea e risponde all'ideologia politica. Le evidenze scientifiche devono essere credibili e convincenti, fornire soluzioni pratiche ai problemi di politica corrente ed essere presentate in modo da attrarre l'interesse dei politici; mentre è evidente che la scienza è maggiormente in grado di contribuire a politiche migliori se i ricercatori e i decisori politici condividono reti comuni, si fidano l'uno dell'altro. Ciò accade molto raramente, in quanto scienziati e politici hanno delle funzioni diverse che li porta a contrapporsi. Diverse potenze negano o distorcono infatti le evidenze scientifiche a favore di proprie posizioni, compromettendo la comprensione da parte dell'opinione pubblica e l'effettivo progresso volto al benessere della comunità.

Quando ciò accade, gli scienziati rispondono nella lingua della scienza cercando di risolvere la confusione e l'incomprensione oramai generata nel pubblico, ma non sempre progresso sociale e conoscenza scientifica percorrono strade comuni.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Aristotele, *Metafisica*, Bompiani, 2000

-Petronio, *Satyricon, La novella del vetro infrangibile*, Mondadori, 2016

-Seneca, *Naturales Quaestiones*, Giardini, Pisa 1982

B. Brecht, *Vita di Galileo*, Einaudi, 1971

life.unige.it, *data di consultazione 02/03/2023*

www.carlofelicemanara.it *data di consultazione 22/02/2023*

matematica.unibocconi.eu *data di consultazione 12/02/2023*

www.avvenire.it *data di consultazione 15/03/2023*

<http://www.semidiscienza.it/> *data di consultazione 02/03/2023*

life.unige.it *data di consultazione 20/01/2023*

www.carlofelicemanara.it *data di consultazione 12/03/2023*

matematica.unibocconi.eu *data di consultazione 02/03/2023*

www.avvenire.it *data di consultazione 30/03/2023*

<http://www.semidiscienza.it/> *data di consultazione 07/03/2023*

https://mydbook.giuntitvp.it/app/books/GT2022_G2376668B/pdf/66 *data di consultazione 04/03/2023*

METODO, CREATIVITÀ E MERAVIGLIA: IL SENSO DELLA SCIENZA

La traduzione di alcuni saggi dell'autobiografia di W. K. Heisenberg *Der Teil und das Ganze* ci ha offerto molti spunti di riflessione. Abbiamo deciso di focalizzare la nostra attenzione su alcuni aspetti, talvolta non immediatamente evidenti, che caratterizzano la ricerca scientifica: la creatività e la meraviglia. Emozioni, che spingono lo scienziato ad indagare e cercare di comprendere i fenomeni naturali. Ci siamo soffermati infine su alcune questioni di metodo.

Per affrontare l'argomento abbiamo deciso di riferirci al testo di R. P. Feynman¹⁹: *Il senso delle cose* e alle riflessioni metodologiche di K. Popper²⁰ e di T. Kuhn²¹.

CONTESTUALIZZAZIONE STORICA

Durante la seconda guerra mondiale scienza e tecnologia furono poste al servizio delle esigenze belliche affinché sviluppassero un'arma capace di decidere le sorti del conflitto. I tedeschi si impegnarono nella ricerca missilistica sotto la guida di Werner von Braun. Negli Stati Uniti il fisico Robert Oppenheimer fu messo alla guida del *Progetto Manhattan*, il cui obiettivo fu quello di sviluppare una bomba atomica.

Il periodo che seguì la Seconda guerra mondiale, definito 'guerra fredda', fu caratterizzato dalla netta contrapposizione tra il blocco sovietico e quello statunitense, in questo contesto si sviluppò una forte competizione che vide coinvolte anche scienza e tecnologia, che venivano così private della loro essenza più profonda a favore di una superficiale adesione alle strategie politiche.

Le riflessioni epistemologiche ed etiche di K. Popper, di T. Kuhn e di R. Feynman restituiscono al pensiero scientifico una dimensione umana, autonoma e autentica, ricordando che l'attività dello scienziato non è soltanto un'indagine volta a scoprire le leggi della natura, ma anche un modo per apprezzarne la bellezza.

COS'È LA SCIENZA

Feynman nel testo *Il senso delle cose* riflette sul significato della scienza la cui definizione non è scontata. Individua diverse accezioni del termine 'scienza': ad esempio il metodo speciale di scoprire le cose, l'insieme delle conoscenze, che si originano dalle cose scoperte, ma anche tutte le cose nuove che si possono realizzare utilizzando la conoscenza acquisita, la tecnologia.

Riflettendo attorno agli ambiti applicativi delle scoperte scientifiche Feynman riconosce che la scienza non fornisce un libretto di istruzioni allo scienziato, quindi il risultato sarà buono o cattivo a seconda di come verrà utilizzato. Questo però non ha nulla a che fare con la scienza, ma piuttosto è una questione di tipo umanitario e politico. L'autore ritiene che la scienza possa essere paragonata ad una chiave che viene data all'uomo e può aprire sia le porte del paradiso che quelle dell'inferno, quando si parla di responsabilità degli scienziati ci si riferisce agli aspetti applicativi della scienza e Feynman ritiene che questo ambito non sia di competenza dello scienziato. Posizione questa non sempre condivisa, riflettendo, ad esempio, sugli studi di Von Braun L. Laura²² afferma che:

¹⁹ **Richard P. Feynman (New York, 11 maggio 1918 – Los Angeles, 15 febbraio 1988)**, fisico teorico, fu insignito del premio Nobel nel 1956 per la fisica, per il suo lavoro nello sviluppo dell'elettrodinamica quantistica.

²⁰ **K. Raimund Popper (Vienna, 28 luglio 1902 – Londra, 17 settembre 1994)**, filosofo ed epistemologo austriaco.

²¹ **Thomas Samuel Kuhn (Cincinnati 1922 - Cambridge, Massachusetts, 1996)**, epistemologo e storico della scienza statunitense.

²² L. Laura, docente di Informatica presso Luiss e tiene corsi per la Business School come esperto di Digital Skills e Big Data.

*Non posso che pensare, però, che il più grande progettista della storia, Wernher von Braun, sia stato anche il progettista dei missili V2 usati dai nazisti verso la fine del conflitto per colpire Gran Bretagna e Belgio. Il razzo sovietico R7, quello che porta in orbita il primo satellite artificiale, lo Sputnik, è un diretto discendente del modello R1, a sua volta una copia esatta del missile V2 di von Braun. [...]Uno tra i punti più bassi della storia dell'umanità, la guerra, e uno dei punti più alti, la conquista dello spazio, usano missili e razzi progettati dalla stessa persona. In effetti, un missile è un razzo, la differenza tra i due è solo il carico, esplosivo o astronauti, e la destinazione, una nazione avversa o lo spazio aperto. **Siamo noi a decidere se abbiamo missili o razzi.**²³*



W. von Braun- progettista del missile V2



razzo sovietico R7

Per Feynman l'obiettivo dello scienziato è la scoperta in sé, che andrebbe valorizzata in quanto tale, e non rispetto all'uso applicativo che ne deriva, con le relative responsabilità connesse. Il fisico afferma che le grandi domande siano «Cosa devo fare? Se faccio questo cosa succede? Voglio che succeda?» e solo la seconda domanda sia suscettibile di indagine scientifica, ma anche in questo caso non esistono risposte certe.²⁴

SCIENZA FANTASIA E CREATIVITÀ

Sono la scoperta e l'emozione che da essa deriva il motore della ricerca. Feynman si sofferma a descrivere il metodo scientifico basato sull'osservazione, che permette di trovare una regola e che è giudice di se stessa. Se l'osservazione evidenzia un'eccezione allora la regola va modificata e aggiornata. Lo scienziato trova l'eccezione stimolante perché sottopone un dubbio, stimola a cercare una nuova regola che arrivi a dimostrare anche l'eccezione.

Tutto l'universo è interconnesso e così anche le discipline che lo studiano. Fondamentale nella ricerca è la collaborazione e la condivisione dei risultati.

Feynman si interroga anche sulla provenienza dell'idea che muove la ricerca. Egli sostiene che l'origine vera delle idee sia sconosciuta o meglio non scientificamente determinata. Nonostante qualcuno affermi che nella scienza non ci sia posto per la fantasia, questa secondo l'autore rappresenta quel guizzo di immaginazione, di creatività e di intuito che stimolano la nascita di una nuova idea, elemento che fornisce impulso alla ricerca e che permette di mettersi in discussione. Anche Heisenberg nella sua autobiografia afferma:

La fantasia gioca un ruolo importante nel regno della scienza e anche della scienza naturale. Infatti, anche se per ottenere i fatti è necessario un lavoro molto sobrio, attento e sperimentale, la comprensione delle relazioni dei fatti è possibile solo immedesimandosi nei fenomeni piuttosto che pensarli.

Lo scienziato deve infatti lasciare sempre aperta la porta sull'ignoto, ammettendo di non sapere come stanno le cose. Emerge il valore del dubbio che, come afferma Feynman, ci spinge a guardare in

²³ L. Laura, "Breve storia degli algoritmi", Luiss University Press, Roma, 2019, p. 96

²⁴ R. P. Feynman "Il senso delle cose" gli Adelphi, Milano 1999, p. 26

nuove direzioni e cercare nuove idee²⁵. Le conoscenze scientifiche attuali sono formate da affermazioni con diversi livelli di certezza di cui nessuna risulta certa del tutto.

SCIENZA COME METODO D'INDAGINE

Il metodo per acquisire conoscenza sul mondo naturale passa attraverso l'osservazione, la sperimentazione e la formulazione di ipotesi e teorie. La scienza è quindi un insieme di conoscenze organizzate e sistematiche sul mondo. Questa definizione si concentra sulla raccolta e l'organizzazione di informazioni.

La ricerca scientifica differisce dalla tecnologia che si concentra sugli usi applicativi della scienza.

Le riflessioni sul metodo della scienza proposte da Feynman si richiamano a quelle di K. Popper e T. Kuhn. Karl Popper, nella Logica della scoperta scientifica, parte dalla ricerca di un criterio di 'demarcazione' tra scienza e non-scienza, tracciando una linea di confine tra le asserzioni delle scienze empiriche e le altre asserzioni. Ispirandosi al modello di Einstein, Popper rintraccia un nuovo principio di demarcazione per individuare le asserzioni scientifiche nel criterio di falsificabilità, secondo il quale una teoria è scientifica solo se può essere sottoposta a falsificazione e/o essere smentita e questo avviene nel momento in cui i suoi enunciati risultano in conflitto con le osservazioni. Ad esempio l'affermazione "sta piovendo" non può essere smentita o falsificata, di conseguenza non può essere una teoria scientifica. Invece il sistema tolemaico può essere smentito tramite le osservazioni che possono contrastare gli enunciati, per questo è una teoria scientifica. Per convalidare la validità di una teoria scientifica non si va alla ricerca di una sua conferma, ma piuttosto di una sua possibile smentita. Fino a che non si troverà nessuna smentita della teoria, questa verrà ritenuta valida ossia corroborata. Sulla stessa lunghezza d'onda è Feynman che afferma:

l'eccezione dimostra che la regola è sbagliata. Le eccezioni sono interessanti di per sé perché dimostrano che c'è l'errore, il bello a questo punto è andare a caccia dell'errore [...] è lì che ci si diverte perciò paradossalmente (lo scienziato) tenta il più in fretta possibile di dimostrare che stava sbagliando.²⁶

Popper propone una procedura che definisce il percorso della scienza, che consiste: *in tre passi principali²⁷:*

1. *inciampare in qualche problema;*
2. *tentativo di risolverlo, per esempio proponendo una nuova teoria;*
3. *imparare dai nostri errori, in particolare da quelli su cui ci richiama la discussione critica dei nostri tentativi di soluzione, una discussione che tende a condurci a nuovi problemi.*

In sintesi, il modo di procedere della scienza razionale può essere riassunto con le parole "problemi-teorie-critica".

Thomas Kuhn, ne *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, sviluppa una concezione di tipo epistemologico originale, per cui le nuove dottrine sorgono dalla sostituzione del modello esplicativo vigente con uno innovativo. Lo sviluppo storico della scienza si articola attraverso l'alternarsi di due periodi, quello di "scienza normale" e quello di "rotture rivoluzionarie". Nel periodo di scienza normale sono preponderanti determinati paradigmi, ovvero di complessi organizzati di teorie, modelli di ricerca e di pratiche sperimentali. Altri esempi di paradigmi sono l'astronomia tolemaica e copernicana, la dinamica di Aristotele e di Newton, l'ottica corpuscolare e quella ondulatoria, paradigmi per i quali una certa comunità

²⁵ R. P. Feynman "Il senso delle cose" gli Adelphi, Milano 1999, p. 36

²⁶ R. P. Feynman ibidem p. 26

²⁷ K. R. Popper "Il mito della cornice. Difesa della razionalità e della scienza" trad.it. di P. Palminiello, Il Mulino, Bologna 1994, p. 138
N. Abbagnano-G. Fornero, *Confilosofare*, Vol 3B Paravia, Padova 2016

scientifico condivide pienamente il punto di vista. La comunità scientifica è composta da scienziati che riconoscono la validità di uno lo stesso paradigma, di una stessa etica, stessi criteri e stessi modelli interpretativi.

Fondamentale afferma che la scienza è fortemente influenzata dai cambiamenti del contesto storico, culturale e sociale, politico ed economico, non possono quindi esistere dei metodi scientifici avulsi da tutti questi contesti.

Kuhn sostiene che la scienza normale entra in crisi per un addizionarsi di "anomalie", ovvero eventi che sono nuovi e improvvisi. Gli scienziati del periodo normale vorrebbero evitare i cambiamenti, quindi cercano di incasellare dati con forza nel vecchio modello cercando di modificarlo. Non è presente una "falsificazione" del paradigma, bensì questo viene riformulato. Ciò fa sì che si formino sempre maggiori crepe all'interno del vecchio sistema, fino a produrre una rottura rivoluzionaria. Questa crisi porta ad un progressivo allontanamento del vecchio paradigma e l'adesione ad un nuovo sistema, cambiando il punto di vista da cui si osservava il mondo. Kuhn ribadisce l'importanza del contesto storico in cui si sviluppano i nuovi paradigmi che risultano essere incommensurabili tra di loro.

È UN'EPOCA SCIENTIFICA LA NOSTRA?

Concludiamo questo breve testo riportando la riflessione conclusiva di Feynman, che riteniamo essere molto attuale, in merito al significato della scienza e al metodo scientifico, che ha portato il fisico a chiedersi: *È un'epoca scientifica la nostra?*

L'autore ritiene che la nostra epoca sia più un'epoca tecnologica, che scientifica. Afferma che spesso si confonde il termine scientifico con meticoloso, completo, certo e sistematico, ma questi sono aspetti caratterizzanti la tecnologia. La conoscenza scientifica al contrario è spesso incerta e si fonda sul dubbio che spinge a guardare in direzioni diverse.

*Nella scienza il dubbio è un valore [...] che non deve incutere timore, ma dev'essere accolto come una preziosa opportunità.*²⁸

BIBLIOGRAFIA

U. Curi, *Il coraggio di pensare*, vol. 3B Loescher, Torino 2018

R. Feynman, *Il senso delle cose*, Adelphi, Milano 1999

T. S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1999

K. Popper, *Scienza e filosofia. Problemi a scopi della scienza* a cura di D. Zucchello, Einaudi scuola, Torino 2007

N. Abbagnano-G. Fornero, *Confilosofare*, vol. 3B Paravia, Padova 2016

L. Laura, *Breve e universale storia degli algoritmi*, Luiss University Press, Roma, 2019

²⁸ R. P. Feynman ibidem ibidem p. 37

LIBERTÀ E RESPONSABILITÀ DELLO SCIENZIATO

L'epoca moderna si è formata attorno al valore della libertà della ricerca scientifica, ma lo sviluppo della scienza ha sollevato ricorrenti critiche e ansie profonde per le conseguenze che l'applicazione di tali scoperte potrebbe produrre. Su questo tema riflette anche Heisenberg nel saggio autobiografico da *La via verso un nuovo inizio (1941-1945)*, testo in cui viene affrontato anche il controverso tema della costruzione di armi nucleari che pose numerosi scienziati di fronte ad un profondo dilemma etico: contribuire al progresso tecnologico senza limiti o salvaguardare l'umanità?

Dopo Hiroshima e Nagasaki, il mondo conobbe una nuova paura: quella di un conflitto termonucleare in grado di spazzare via la specie umana dalla faccia della Terra. Questa paura, che oggi si ripresenta in forme nuove, ha attraversato tutto il lungo periodo della guerra fredda. Inizialmente, proprio gli effetti spaventosi prodotti dallo sgancio degli ordigni sulle città giapponesi, avevano per un momento lasciato intendere che mai più le potenze mondiali avrebbero fatto ricorso a tali armi. Ma l'acuirsi delle tensioni tra USA e URSS generò, al contrario, una proliferazione degli armamenti nucleari, disseminati in tutte le aree afferenti ai due blocchi ed utilizzate come deterrente al fine di evitare nuovi conflitti. Il mondo fu duramente messo alla prova in occasione della crisi dei missili di Cuba del 1962, quando le due superpotenze mondiali furono ad un passo dallo scontro diretto. Al fine di indagare i complessi rapporti tra ricerca scientifica, progresso tecnologico ed etica si è ritenuto interessante prendere in considerazione, a scopo esemplificativo, le diverse posizioni assunte dal premio Nobel per la fisica Albert Einstein, dapprima nella lettera che scrisse assieme a Leo Szilard al presidente degli USA nel 1939 e successivamente nel manifesto che redasse in collaborazione con Bertrand Russell nel 1955 rivolto all'umanità intera. In conclusione si riporta la riflessione etica del filosofo Hans Jonas, che per evidenziare i rischi dell'azione umana sulla natura ricorre all'immagine di un 'Prometeo scatenato', che assurge a simbolo di una tecnica, che ha portato a una perdita totale di controllo e giunge a mettere a rischio la sopravvivenza stessa dell'umanità.



Jan Cossiers, 'Prometeo ruba il fuoco', 1630

LETTERA DI EINSTEIN-SZILARD A ROOSEVELT

Il primo testo preso in esame è la *Lettera Einstein-Szilard* al presidente degli Stati Uniti Roosevelt. Il contesto storico in cui venne redatta precede di un mese l'invasione tedesca della Polonia, avvenuta il primo settembre 1939, evento che determinò l'inizio della Seconda guerra mondiale in Europa. Inizialmente gli Stati Uniti si limitarono a fornire armi e sostegno economico al Regno Unito e alla Cina.

Dopo l'inatteso attacco giapponese a Pearl Harbor, gli USA si allearono con la Francia e con l'Inghilterra ed intervennero direttamente nel conflitto mondiale.

In apertura alla lettera, inviata al presidente degli Stati Uniti Roosevelt il 2 agosto del 1939, Einstein, consapevole della minaccia nazionalsocialista e delle sue eventuali conseguenze, richiama l'attenzione del presidente sulla questione dell'uranio, che si riteneva potesse generare una nuova fonte di energia.

Vengono portati a supporto dell'argomentazione gli studi di Joliot, Fermi e Szilard, secondo i quali con una determinata massa di uranio sarebbe stato possibile provocare una reazione nucleare a catena che avrebbe sviluppato una grande quantità di energia oppure la formazione di nuovi elementi chimici. Sfruttando la suddetta reazione a catena si sarebbero potute realizzare nuove bombe estremamente distruttive.

Lo scienziato evidenzia tuttavia le difficoltà pratiche relative al progetto; il trasporto degli ordigni tramite aerei sarebbe infatti stato estremamente difficile a causa del peso considerevole, inoltre i giacimenti uraniferi erano molto limitati e negli Stati Uniti si trovavano solo pochi minerali a bassa percentuale di uranio.

Dopo la presentazione di tali problematiche, Einstein propone di stabilire un ponte tra il governo statunitense e i fisici che in America si occupavano della questione, attraverso la nomina di un responsabile della ricerca. Questa figura avrebbe avuto il compito di tenere aggiornati i dipartimenti interessati, di assicurare le forniture e di accelerare il lavoro, sollecitando finanziamenti di privati e assicurando l'assistenza da parte di laboratori dotati delle attrezzature utili.

Il fisico fa poi chiarezza sulla questione dell'embargo posto sull'uranio dalla Germania, imposto per evitare lo sviluppo della bomba nucleare negli Stati Uniti, spiegando che al *Kaiser-Wilhelm-Institut* di Berlino si stavano svolgendo esperimenti analoghi a quelli americani.

In risposta alla lettera, il presidente Roosevelt ringrazia e informa di aver convocato una Commissione, con il capo del *Bureau of Standards* e dei rappresentanti dell'Esercito e della Marina, che si sarebbe occupata della proposta di Einstein. A collaborare sarà anche chiamato il Dr. Sachs.

Dal testo si può quindi evincere come Einstein potesse avere una posizione a favore della ricerca finalizzata alla costruzione di armi atte alla sconfitta della Germania nazista, anche se non con intento di sopraffazione, bensì di mera difesa e di salvaguardia di fronte alla minaccia di studi analoghi intrapresi dalla Germania nazionalsocialista e soprattutto delle potenziali conseguenze.

Diversi saranno invece i toni e le riflessioni nel secondo testo preso in considerazione qui di seguito.



Albert Einstein e Leo Szilárd

MANIFESTO RUSSELL-EINSTEIN

Sedici anni dopo la stesura del primo testo preso in esame, il 9 luglio 1955, lo scienziato tedesco e il filosofo-matematico Bertrand Russell scrivono un manifesto, *The Russell-Einstein Manifesto*, in favore del disarmo nucleare.

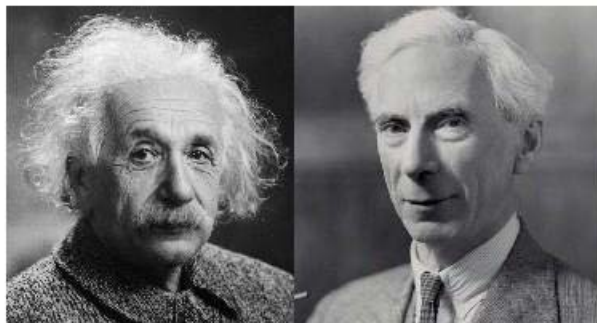
Entrambi non si presentano come portavoce di una determinata nazione o di un determinato partito politico, ma come *membri del genere umano*, preoccupati per la sopravvivenza dell'umanità. Essi chiedono ai lettori stessi di mettere da parte le proprie ideologie e di concentrarsi sull'imminente pericolo.

Mettono in evidenza come non sia più necessario concentrarsi su come vincere un conflitto, ma su come evitare di giungere ad una guerra, che potrebbe concludersi con la distruzione del genere umano. L'ammonimento richiama la riflessione di Heisenberg che, in *La via verso un nuovo inizio*, si esprime sulla questione etica della bomba:

[...] Ma una bomba atomica, che uccide in un colpo solo centinaia di migliaia di civili, è un'arma come un'altra? Si può applicare in questo contesto la vecchia, ma problematica regola secondo la quale: per la causa buona è lecito lottare con tutti i mezzi, mentre per quella cattiva no? Si possono dunque fabbricare bombe atomiche per una giusta causa, ma non per una cattiva? [...]

Einstein e Russell ritengono che gran parte degli uomini non abbia ancora compreso la vera pericolosità delle armi nucleari, come la bomba all'idrogeno, il cui utilizzo potrebbe distruggere vastissimi territori. A sostegno di questo argomento viene citata la possibilità di costruire un ordigno ben 2500 volte più potente di quello sganciato su Hiroshima. Questo disperderebbe particelle radioattive che avrebbero ripercussioni anche a lungo termine sull'ambiente e sulla popolazione. La morte sarebbe infatti

[...] immediata solo per una minoranza, mentre alla maggior parte degli uomini toccherebbe una lenta agonia dovuta a malattie e disfacimento [...].



Albert Einstein e Bertand Russell

A contrapporsi sono dunque la fine del genere umano o la rinuncia alla guerra. Russell e Einstein affermano che molti uomini non vogliono confrontarsi con questa scelta, poiché abolire la guerra appare limitante nei confronti della sovranità nazionale. Essi però faticano soprattutto a comprendere davvero la situazione, poiché non si rendono conto che di quell'umanità in pericolo fanno parte loro stessi. L'idea che le guerre possano continuare a condizione che vengano vietate le armi moderne è mera illusione. Ogni nazione infatti provvederebbe alla produzione di bombe a idrogeno con il timore che anche le altre facciano lo stesso.

I due autori del manifesto sostengono tuttavia che la rinuncia all'armamento nucleare non costituirebbe una soluzione definitiva ai conflitti, ma sarebbe comunque utile per costruire un mondo migliore. Ogni accordo contribuirebbe a diminuire le tensioni internazionali e l'abolizione delle armi termonucleari diminuirebbe il timore di attacchi improvvisi da parte delle altre nazioni.

In conclusione in due scienziati fanno leva di nuovo sul fatto che i contrasti non si risolvono con la guerra e che le soluzioni non devono prescindere dalle differenze etniche e politiche delle parti in causa.

Essi si appellano infine *in quanto esseri umani, ad altri esseri umani* e si rivolgono a tutti i governi del mondo sollecitandoli a trovare una via pacifica nel perseguire i propri obiettivi.

RIFLESSIONI CONCLUSIVE

La contrapposizione tra le due lettere è evidente in quanto nella seconda si assiste ad un radicale cambiamento della posizione di Einstein. Mentre nel 1939 il fisico sosteneva la necessità di incrementare la ricerca nel settore nucleare e in particolare sulla possibile produzione di armi atomiche, nel 1946 si pone come promotore del disarmo nucleare e assume posizioni pacifiste.

Gli eventi che si sono susseguiti tra l'invio delle due lettere, in particolare quelli di Hiroshima e Nagasaki, hanno chiaramente influenzato l'opinione dello scienziato, le due bombe sul Giappone sono state la prova delle terribili conseguenze alle quali è giunta la scienza, quando questa è stata utilizzata dalla politica non per il progresso, ma per interessi nazionali che sarebbero in grado di arrivare ciecamente alla distruzione dell'uomo stesso. In occasione della quarantatreesima riunione della *Società italiana per il progresso delle scienze*, tenutasi a Lucca nei giorni tra l'1 e il 4 ottobre 1950, il fisico Albert Einstein scrisse infatti un conseguente discorso, dal quale emerge chiaramente la difficoltà dello scienziato, di fronte ad una scoperta in grado di distruggere l'umanità, se utilizzata da parte di forze politiche cieche o mosse da scopi egoistici e nazionalisti.

Il fisico tedesco affermò infatti:

L'uomo di scienza è indubbiamente turbato dal fatto che i risultati della sua ricerca hanno comportato un'acuta minaccia dell'umanità, dopo che i frutti di questa ricerca sono caduti nelle mani di detentori della forza politica ciechi d'animo. e Ha creato i mezzi per il suo asservimento esteriore e il suo annientamento dall'interno.

Concludendo possiamo affermare che Einstein riponeva la sua speranza in una scienza pacifista:

Se l'uomo di scienza dei nostri giorni trovasse il tempo e il coraggio di considerare con calma e criticamente la sua situazione e il suo compito, e di operare in modo adeguato, le prospettive di una ragionevole e soddisfacente soluzione della presente pericolosa situazione internazionale verrebbero essenzialmente migliorate.

Il tema delle conseguenze e del possibile impatto della ricerca scientifica sulla tecnologia, sulla società e sulle scelte politiche era d'altronde già stato affrontato da Heisenberg nel testo *Discussioni sulle potenzialità della tecnica atomica sulle particelle elementari*:

[...] Ci sarà certamente un romanzo inglese, in cui un fisico inventa la bomba atomica nel momento di massima tensione politica per il suo Paese, che perciò come un "deus ex machina", supera tutte le difficoltà politiche. Questi sono naturalmente sogni. Tuttavia il fisico-chimico Nernst, in maniera più seria, ha affermato una volta a Berlino che la Terra è in realtà una sorta di polveriera, a cui per ora manca solo il fiammifero con cui poterla scaraventare in aria. Anche questo è proprio vero: se si potessero unire quattro atomi di idrogeno ad un atomo di elio in acqua di mare, si libererebbe un'energia così grande, che il paragone con la polveriera potrebbe essere considerato soltanto una ridicola minimizzazione. [...]

Tali riflessioni trovarono riscontro tra numerosi intellettuali e filosofi che si sono interrogati sulla necessità di elaborare un'etica in grado di guidare la ricerca scientifica e tecnologica. Tra le diverse voci è interessante quella di Hans Jonas, che si interroga sui rischi che il progresso tecnologico può comportare ed elabora una nuova etica definita della responsabilità, capace di guardare in modo specifico alla civiltà

tecnologica. Nel testo *Il principio responsabilità. Ricerca di un'etica per la civiltà tecnologica* (1979) il filosofo analizza i possibili effetti a lungo termine dell'agire umano, affermando la necessità di una nuova etica, che tenga conto dei diritti delle generazioni future e del mondo extraumano. In altri termini, non ci si può accontentare di regole formali, ma occorre prevedere gli effetti che le azioni avranno sul futuro dell'umanità e del pianeta. Secondo Jonas sono necessari quindi nuovi imperativi etici, che guidino il comportamento degli uomini. In particolare Jonas prescrive di agire in modo che le conseguenze delle proprie azioni siano compatibili con la permanenza di un'autentica vita umana sulla Terra e che non distruggano la possibilità futura di tale vita; egli esorta a non mettere in pericolo le condizioni della sopravvivenza indefinita dell'umanità sulla Terra, ad includere nella propria scelta l'integrità futura dell'uomo come oggetto della propria volontà.



Hans Jonas

Il filosofo elogia la cautela come guida della ricerca scientifica, definendola il *lato migliore del coraggio* e affermando che la responsabilità si nutre non soltanto di speranza, ma anche di paura.

[...] ma la paura, ancorché caduta in un certo discredito morale e psicologico, fa parte della responsabilità altrettanto quanto la speranza[...]Quando parliamo della paura che per natura fa parte della responsabilità, non intendiamo la paura che dissuade l'azione, ma quella che esorta a compierla; intendiamo la paura che ha per oggetto la responsabilità.

BIBLIOGRAFIA

- A. Einstein, *Come io vedo il mondo*, Newton Compton, 1981
Angelo Genovesi, *Einstein scienza e società*, Fondazione Achille e Giulia Boroli
A. Einstein - L. Szilard, Lettera a Roosevelt, 1939
W. Heisenberg, *La via verso un nuovo inizio, 1941-1945*
A. Einstein - B. Russell, *Manifesto Russell-Einstein*, Londra, 1955
N. Abbagnano - G. Fornero, *La filosofia e l'esistenza*, Vol 3B, Paravia, Milano-Torino 2021
V. Castronovo, *MilleDuemilaTrenta*, Vol 3, Rizzoli, Milano, 2023
H. Jonas, *Il principio responsabilità. Ricerca di un'etica per la civiltà tecnologica*, Einaudi, Torino 1993
Sitografia
<https://www.treccani.it/enciclopedia/frederic-joliot-curie/> data di consultazione 22-04-2022