



Luisa Bonolis

Dipartimento di

Fisica, Università

“La Sapienza”, Roma

Preludio alla bomba¹

ABSTRACT

The discovery and the theoretical explanation of the fission of uranium were published at the beginning of 1939: the same year that saw the start of World War 2. Many physicists who had emigrated to the US to escape the horrors of nazism felt the duty to participate in the construction of the first nuclear weapon. When the first atom bombs were used in Japan the devil that they had helped to free was definitely out of their control: it was too late for doubts and repent.

Prologo

Il 22 aprile 1915 a Ypres, in Belgio, una nuvola di cloro si sollevò dalle trincee tedesche e venne trasportata dal vento fino alle linee alleate. Fu una vera strage. Era iniziata la guerra chimica guidata dal chimico tedesco Fritz Haber, inventore del processo per la sintesi dell'ammoniaca. “In nessuna delle guerre che si combatteranno in futuro i militari potranno ignorare i gas velenosi. È un modo superiore di uccidere”. Questa frase fu inclusa nel discorso pronunciato da Haber in occasione del conferimento del premio Nobel per la chimica che gli fu assegnato nel 1918 per la sintesi dell'ammoniaca.

Il premio era stato istituito dall'industriale Alfred Nobel, inventore della dinamite, per placare la sua cattiva coscienza di industriale produttore di esplosivi, grazie ai quali aveva potuto accumulare l'enorme fortuna devoluta nel suo testamento a questa buona causa.

Nel gruppo di cervelli che lavorarono per Haber all'epoca della guerra chimica, si trovavano ben tre futuri premi Nobel come Gustav Hertz, James Franck e Otto Hahn. Quest'ultimo, uno dei protagonisti principali delle vicende qui di seguito raccontate, divenne un esperto nell'uso dei gas venefici, sia a livello tattico, sia a livello di produzione che di stoccaggio. Si offrì anche come volontario per verificare la perfetta tenuta delle maschere antigas.

“Il vento era favorevole, e noi sprigionammo una miscela di gas di cloro e fosgene, un gas velenosissimo – ricorda Hahn – La continua pratica con questa sostanza fortemente tossica ci aveva resi talmente insensibili, che non avevamo più scrupoli di nessun genere sul suo impiego al fronte... L'attacco fu un pieno successo... Nell'avanzata colpimmo in quantità rilevante i russi avvelenati dal gas... Erano sparsi dappertutto e stavano rannicchiati in stato pietoso. Con i nostri apparecchi di salvataggio cercammo di aiutarli a respirare uno a uno, senza però poterne impedire la morte. Io mi sentii allora profondamente preso da vergogna e intimamente molto turbato, poiché in fin dei conti io stesso avevo contribuito a causare quella tragedia.”

Circa 25 anni dopo, Otto Hahn sarebbe stato tra i protagonisti di una delle scoperte più gravide di conseguenze della storia del Novecento: la fissione del nucleo di uranio. Questa scoperta e la sua spiegazione teorica furono pubblicate all'inizio del 1939, anno in cui iniziò la seconda guerra mondiale. Le leggi razziali prima – con la conseguente fuga dei cervelli verso l'Inghilterra e gli Stati Uniti – e la guerra poi, prepararono lo scenario che avrebbe avuto come drammatico epilogo i bombardamenti atomici di Hiroshima e Nagasaki. È la guerra dei fisici, così come la prima era stata la guerra dei chimici. Il radar è il protagonista della seconda guerra mondiale, la cui fine sarà segnata da due bombe atomiche nell'agosto del 1945. Il 16 novembre di quello stesso anno la Reale Accademia delle Scienze di Svezia, conferisce il premio Nobel a Otto Hahn, il fisico tedesco che, appena sei anni prima, ha scoperto la fissione dell'uranio.

¹ Relazione tenuta al XLIII Congresso Nazionale AIF di Salice Terme, nel seminario “Tra guerra e pace: gli scienziati dopo Hiroshima”.

Come si era arrivati alle vicende scientifiche che avevano giocato un ruolo così determinante in quei drammatici avvenimenti?

Per comprenderlo è opportuno ripercorrere le tappe principali di una avventura che prende l'avvio da una serie di scoperte – tanto straordinarie, quanto misteriose – che alle soglie dell'Ottocento sconvolgono quello che appariva ai fisici un panorama quasi tranquillo.

Il mistero dei “raggi uranici”

Alla fine dell'Ottocento, la fisica sembra arrivata a compimento, in grado di spiegare tutto con le equazioni della fisica classica. Ma una cascata di nuovi fenomeni inspiegabili sta per turbare i sonni dei grandi scienziati: alla scala atomica e subatomica ne stanno per succedere di tutti i colori; incominciano quelli che McCormack chiamerà gli “incubi notturni di un fisico classico”. Nel 1895 il fisico tedesco Wilhelm Konrad Röntgen scopre che dei raggi invisibili si propagano all'esterno di un tubo a raggi catodici ricoperto di carta nera. A Parigi Henri Becquerel inizia subito degli esperimenti alla ricerca di nuove sorgenti di raggi X e nel tentativo di individuare qualche relazione tra la luminescenza dovuta a questi ultimi e la fluorescenza dei sali di uranio scopre nel 1896 il fenomeno della radioattività naturale. Sulla scia di questa scoperta Marie e Pierre Curie individuano nuovi elementi radioattivi, il radio e il polonio, che si aggiungono all'uranio e al torio, i soli conosciuti all'epoca. Gli elementi radioattivi conosciuti saliranno a trenta nel 1912. Nel 1895 Perrin dimostra che i raggi catodici sono carichi negativamente e di lì a poco entra in scena addirittura l'elettrone, di cui nel 1897 J.J. Thomson riesce a determinare il rapporto e/m . Si parla per la prima volta di una particella più leggera dell'idrogeno: un corpuscolo che pone subito interrogativi sulla struttura interna dell'atomo stesso. È il punto di arrivo di 2500 anni di indagini e speculazioni, l'inizio della comprensione della struttura della materia. Eppure, all'epoca la questione dell'esistenza degli atomi generava ancora violente discussioni, e alcuni li rappresentavano come vortici nell'etere luminifero. La tavola periodica di Mendeleiev era un enorme punto di arrivo per i chimici, che tuttavia non erano in grado di spiegare quale fosse l'origine del diverso comportamento degli atomi corrispondenti ai differenti elementi.

Tra la fine dell'Ottocento e i primi venti anni del Novecento il neozelandese Ernest Rutherford domina il panorama della fisica nucleare dell'epoca. Nel 1899 trova che i raggi Becquerel sono di varia natura: chiama *alfa* la componente facilmente assorbita e *beta* quella più penetrante. L'esistenza di una radiazione ancora più penetrante, i raggi *gamma*, viene scoperta da Paul Villard nel 1900. L'effettiva comprensione della radioattività venne soprattutto dalla straordinaria collaborazione tra Ernest Rutherford e Frederick Soddy, che nel 1902 pubblicano la teoria del decadimento radioattivo. Il fenomeno della radioattività si presentava decisamente sorprendente. Non soltanto implicava la trasmutazione di una specie chimica in un'altra, realizzando l'antico sogno degli alchimisti, ma non era possibile prevedere in quale istante il singolo atomo avrebbe deciso di decadere.

Le ricerche sistematiche portate avanti da Rutherford con le particelle alfa forniranno la prima chiave di accesso al mondo subatomico. Nel 1904 Rutherford dimostra che i raggi alfa sono particelle “pesanti” dotate di carica positiva e nel 1908 fornisce la conferma che le particelle alfa sono nuclei di elio. L'anno successivo, 1909, gli esperimenti di Geiger e Marsden dimostrano definitivamente che quando un fascio di particelle alfa attraversa fogli sottili di varie sostanze, in particolare oro, alcune particelle vengono deflesse a grandi angoli. Tali deflessioni, suggerisce Rutherford, non possono che essere prodotte da una grande carica molto concentrata e nel 1911 propone un modello atomico in cui l'atomo

(10^{-8} cm) è fatto di vuoto: il nucleo (10^{-12} cm) è come una biglia in un campo di calcio (<http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Rutherford-1911/Rutherford-1911.html>).

Nel 1909 Rutherford riceve il Nobel per la chimica: è difficile distinguere tra fisica e chimica all'epoca dei primi passi della fisica atomica.

Dalla valutazione dell'energia cinetica associata alle particelle alfa Rutherford era riuscito a valutare che l'energia in gioco nel corso dei processi di disintegrazione, risultava circa un milione di volte maggiore rispetto a quella connessa alle trasformazioni chimiche conosciute. Pierre Curie aveva dimostrato che un grammo di radio era in grado di fondere, in un'ora, una quantità di ghiaccio pari almeno al proprio peso. Da dove proveniva quella continua emanazione di energia, apparentemente inesauribile e dalle origini del tutto misteriose?

In questa rapida esplosione di novità al livello atomico vengono rimesse in discussione concezioni apparentemente intuitive, come il tempo assoluto, la composizione delle velocità, la conservazione della massa. La meccanica newtoniana resta valida solo a livello macroscopico. In uno dei lavori di Einstein del 1905 fa la sua comparsa una formula che entrerà nell'immaginario collettivo del Novecento $E = mc^2$: la relatività speciale di Einstein aveva come conseguenza la possibilità di conversione della massa in energia, e viceversa. Le sue implicazioni si riveleranno gigantesche.

Il nucleo e i suoi paradossi

Fin dal 1902 era apparso evidente che i raggi beta sono uguali ai corpuscoli dei raggi catodici, alle particelle emesse per effetto fotoelettrico e alle particelle responsabili dell'effetto Zeeman (secondo la teoria di Lorentz): sono elettroni. Ma fu soltanto con il modello atomico di Niels Bohr (1913), che incorporava l'atomo nucleare di Rutherford, che divenne chiaro che le energie dei raggi beta sono troppo alte per essere di origine atomica. Questi elettroni dovevano provenire dal nucleo, esattamente come i raggi gamma, molto più energici dei raggi X di origine atomica. Ben trent'anni saranno necessari per comprendere e spiegare teoricamente il mistero degli elettroni "nucleari".

Nel 1919 la prima reazione nucleare (l'azoto viene bombardato con particelle alfa, si trasforma in ossigeno e compare idrogeno) suggerisce a Rutherford che i nuclei consistono di particelle delle dimensioni dell'idrogeno, che lui stesso di lì a poco denominerà protoni. L'anno successivo, 1920, Rutherford specula sulla esistenza di una particella neutra nel nucleo. Insieme ai suoi collaboratori si cimenta nel corso degli anni venti nella produzione di modelli le cui varianti vedono un nucleo comunque composto di protoni ed elettroni ($A = Np$, $Z = Np - Ne$), tenuti insieme da meccanismi complicati, che non risultano troppo convincenti.

Gli anni venti sono anche il palcoscenico della nuova meccanica quantistica, della teoria quantistica della radiazione, dell'equazione di Dirac. Nasce il concetto di antimateria. Nel 1928 George Gamow, simultaneamente a K.W. Gurney e E.U. Condon, fornisce la prima spiegazione teorica della radioattività naturale interpretando il decadimento alfa come un effetto tunnel quantomeccanico attraverso la barriera coulombiana del nucleo.

Alle soglie degli anni trenta il gruppo di Rutherford ha ormai chiaro che i penetranti raggi gamma, radiazione elettromagnetica di alta frequenza, vengono emessi da nuclei rimasti in uno stato eccitato dopo l'emissione della particella alfa, nella transizione allo stato fondamentale. Restava il problema della radiazione beta. Chadwick aveva mostrato nel 1914 che gli elettroni vengono emessi con un ventaglio continuo di energie, contrariamente al caso delle particelle alfa, le cui energie hanno valori ben definiti legati ai diversi elementi emettitori. Bohr

era pronto a rinunciare alle leggi di conservazione, in particolare quella dell'energia, nei processi microscopici, mentre Pauli, che invece credeva ciecamente nelle leggi di conservazione, propose come soluzione l'esistenza di una seconda particella emessa nel corso del decadimento beta, una particella avrebbe portato via con sé una parte dell'energia mancante. Se lo spettro beta emesso nei decadimenti radioattivi è continuo, affermava Pauli, la spiegazione può essere che l'energia messa a disposizione si distribuisce fra tre corpi e non fra due, come nel caso delle particelle alfa. La redistribuzione dell'energia può avvenire in tanti modi possibili, che nell'insieme sono appunto all'origine di uno spettro continuo. A quell'epoca si conoscevano soltanto l'elettrone e il protone; l'idea di una nuova particella era molto coraggiosa e quindi Pauli cominciò a parlarne solo informalmente, a partire dalla fine del 1930.

All'epoca si era accumulata una grandissima quantità di dati sperimentali ma non esisteva una vera e propria comprensione del nucleo da un punto di vista teorico. Si supposeva che fosse composto da protoni ed elettroni, legati fra loro da forze di natura elettrica e magnetica, con un raggio inferiore a 10^{-12} centimetri. Tuttavia, secondo il principio di indeterminazione, gli elettroni nucleari avrebbero dovuto avere velocità confrontabili con quella della luce. Come potevano quindi risultare confinati in un nucleo di quelle dimensioni? Inoltre, gli elettroni nucleari sembravano comportarsi in modo da perdere alcune delle loro proprietà "quantistiche" che li caratterizzavano come elettroni "atomici". Tra l'altro, non tornavano le relazioni tra lo spin dei singoli costituenti nucleari e la statistica che avrebbero dovuto seguire i nuclei formati da un agglomerato di protoni, elettroni o loro stati legati. La struttura del nucleo atomico è quindi all'epoca fonte di accesi dibattiti.

Alle soglie di grandi sconvolgimenti

L'occasione per discutere di questi temi scottanti si presenta nell'autunno del 1931, in occasione del primo congresso importante dedicato alla fisica nucleare organizzato a Roma da Enrico Fermi e Orso Mario Corbino. L'intero campo è destinato a trasformarsi completamente nel giro di pochi mesi.

Già nel mese di dicembre Anderson scopre il positrone nei raggi cosmici e pubblica la prima fotografia che mostra la traccia dell'antiparticella dell'elettrone, la cui esistenza era stata prevista teoricamente da Dirac pochissimo tempo prima. Subito dopo Blackett e Occhialini forniranno la prova della formazione di coppie, a conferma della teoria di Dirac dell'elettrone relativistico. Il 17 febbraio 1932 Chadwick annuncia l'esistenza del neutrone, una particella di carica nulla e massa vicina a quella del protone (<http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Chadwick-neutron-letter.html>). Nasce la moderna fisica nucleare.

La scoperta del neutrone modifica in modo sostanziale l'immagine che ci si faceva del nucleo; ben presto Heisenberg, Majorana e Wigner formulano le prime teorie fenomenologiche della struttura nucleare, anche se per un po' resta attuale l'idea che il neutrone sia uno stato legato elettrone-protone. Ma il dibattito rimane molto acceso intorno a uno dei problemi più ostici, il decadimento beta, per il quale non si riusciva a far quadrare il bilancio energetico. Per risolvere questo scottante problema, Pauli aveva avanzato un'ipotesi che tagliava la testa al toro, di cui aveva continuato a parlare nel corso del convegno romano, in particolare con Fermi, che aveva accolto l'idea con molto favore: l'energia mancante era da attribuirsi alla produzione di una particella neutra, di massa trascurabile, praticamente impossibile da osservare. In effetti il neutrino sarà rivelato sperimentalmente soltanto dopo la guerra, quasi venticinque anni più tardi.

Mentre la situazione politica europea precipita, diversi gruppi lavorano attivamente a ricerche sulla radioattività, ma all'epoca del settimo convegno Solvay, de-

dicato alla struttura e alle proprietà dei nuclei atomici tenuto a Bruxelles nell'ottobre del 1933, il panorama della fisica nucleare è già profondamente cambiato. Finalmente Pauli si decide ad uscire allo scoperto e parla apertamente del neutrino.

Due mesi dopo Enrico Fermi pubblica il "Tentativo di una teoria dell'emissione dei raggi β ", la prima spiegazione quantitativa del decadimento radioattivo beta, che bandisce definitivamente gli elettroni dal nucleo: un neutrone emette un elettrone – particella beta – e un neutrino trasformandosi in protone. Nel corso del processo di creazione di due nuove particelle, elettrone e neutrino, le leggi di conservazione sono salve. Queste idee erano talmente nuove che l'editore della rivista inglese *Nature* si rifiuta di pubblicarle. Appariranno nel marzo 1934 sulla rivista *Zeitschrift für Physik*, quando Fermi sta per diventare protagonista di una nuova straordinaria avventura scientifica.

La radioattività artificiale e il mistero dei transuranici

In gennaio i coniugi Joliot-Curie, che avevano mancato di poco la scoperta del neutrone, annunciano la scoperta della radioattività artificiale: bombardando boro e alluminio con particelle alfa sono riusciti a produrre nei bersagli nuovi isotopi radioattivi accompagnati da emissione di positroni. Questa scoperta rendeva ormai possibile produrre artificialmente dei radioisotopi degli elementi chimici più importanti in biologia e di utilizzarli come traccianti radioattivi, come il sodio e il fosforo.

Fermi capisce immediatamente che i neutroni, non avendo carica, non sarebbero stati né rallentati dagli elettroni né respinti dal campo coulombiano del nucleo e quindi sarebbero stati uno strumento molto più efficace delle particelle alfa usate dai coniugi Joliot-Curie per ottenere isotopi radioattivi. Nel marzo del 1934 Fermi e il suo gruppo cominciano a bombardare sistematicamente con neutroni tutti gli elementi della tavola periodica: vengono ottenuti più di sessanta isotopi radioattivi. Dopo l'estate il lavoro di ricerca continua su basi più quantitative. La mattina del 24 ottobre 1934, verso mezzogiorno, il gruppo scopre che i neutroni rallentati con la paraffina sono centinaia di volte più efficaci nel provocare trasformazioni. Nessuno a quell'epoca poteva prevedere che i neutroni lenti sarebbero poi stata la chiave per la liberazione dell'energia nucleare.

Con la produzione relativamente facile e copiosa di nuclidi radioattivi di tutti i possibili elementi diventava possibile introdurre in sistemi biologici viventi sostanze radioattive che partecipano al metabolismo e segnalano il loro percorso nell'organismo attraverso la localizzazione della loro attività. Con questo metodo è possibile identificare quantità pari a 10^{-15} grammi di iodio contro il valore minimo a cui sarebbe sensibile un metodo chimico di rilevamento, 10 milioni di volte più alto.

Fin dal mese di giugno del 1934 il gruppo romano ritenne di aver ottenuto degli elementi transuranici nel gran numero di nuovi isotopi ottenuti bombardando il torio e l'uranio con i neutroni lenti. Alla stessa conclusione erano giunti gli altri gruppi che lavoravano allo stesso problema: Otto Hahn, Fritz Strassmann e Lise Meitner a Berlino, i coniugi Irène Curie e Frédéric Joliot a Parigi. Nessuno all'epoca prese in considerazione il suggerimento della chimica tedesca Ida Noddack: "Si può supporre che quando i nuclei pesanti sono bombardati con neutroni, si spaccino in vari grandi frammenti, che naturalmente potrebbero essere isotopi di elementi noti, ma vicini agli elementi irradiati". Questo ragionamento andava contro le correnti convenzioni, secondo cui i cambiamenti avvenivano sempre per piccoli spostamenti di specie atomica, e questo fu probabilmente il motivo principale per cui non fu preso sul serio. Ci vorranno altri quattro anni di duro lavoro per sciogliere l'enigma dei transuranici.

Nel 1938 l'emanazione delle leggi razziali fu all'origine della partenza definitiva di Fermi e della sua famiglia. L'occasione fu data dal Premio Nobel che gli fu

assegnato nel dicembre di quell'anno. Come loro, decine di italiani di origine ebraica furono costretti ad abbandonare tutto. Fra loro c'era anche Bruno Rossi, il pioniere della fisica dei raggi cosmici in Italia, da un giorno all'altro estromesso brutalmente da quell'Istituto di Fisica di Padova da lui stesso progettato e fatto costruire.

Il 2 gennaio 1939 la famiglia Fermi sbarca sul continente americano, ignara del fatto che il mondo dei fisici, e non solo, sta per essere profondamente scosso da una notizia straordinaria.

La crisi delle democrazie in Europa precipita proprio mentre si sviluppano le rivoluzionarie ricerche sulle reazioni nucleari. La scoperta della fissione dell'uranio da parte di Otto Hahn e Fritz Strassmann e la spiegazione teorica del fenomeno da parte di Lise Meitner e Otto Frisch furono pubblicate all'inizio dell'anno in cui iniziò la seconda guerra mondiale. Una delle coincidenze più fatidiche nella storia. Una straordinaria catena di eventi scientifici e di vicende umane si intreccia strettamente con questa scoperta che in un primo momento sembrò allo stesso Hahn soltanto un incredibile mistero.

Le leggi razziali promulgate in Germania nel 1933 non avevano toccato direttamente Lise Meitner, che, pur essendo ebrea, era cittadina austriaca e quindi era rimasta al proprio posto continuando a lavorare con Hahn. Nel 1938, dopo l'Anschluss dell'Austria, la sua posizione diventa rapidamente molto critica, nonostante sia ormai considerata una scienziata di grande valore. Nel giro di poche ore viene decisa la sua partenza per Stoccolma, dove trova una collocazione su interessamento di Niels Bohr.

Nel frattempo Hahn e Strassmann avevano continuato a lavorare attivamente bombardando uranio con neutroni e ottenendo un risultato del tutto inatteso. Il 21 dicembre Hahn scrive a Meitner: "Come 'chimici' dobbiamo concludere che i nostri radioisotopi non sono affatto *Ra* ma piuttosto... *Ba*... come 'chimici nucleari' non riusciamo ancora a deciderci a fare un passo drastico che va contro tutte le precedenti esperienze di fisica nucleare". I due chimici hanno individuato nei prodotti del decadimento indotto da neutroni la presenza di bario, un elemento molto lontano dall'uranio nella tavola periodica. Il 22 dicembre Hahn e Strassmann inviano i loro risultati alla rivista *Naturwissenschaften*, il giorno dopo, 23 dicembre, Meitner parte da Stoccolma per Kungälv, dove incontra suo nipote Otto Frisch, i giorni seguenti discutono insieme le lettere di Hahn. L'idea che un neutrone potesse indurre delle oscillazioni nel nucleo visto come una goccia che si divide in due parti prende gradualmente forma. Nel ricevere un supplemento di energia dal neutrone incidente la goccia si deforma, la repulsione coulombiana tra protoni della stessa carica prevale sulle forze nucleari attrattive. Il nucleo si divide in due frammenti che si separano liberando un'energia considerevole. Il processo verrà da Frisch denominato *fissione*, in analogia con il termine utilizzato in biologia per il caso della divisione cellulare (<http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Meitner-Fission-1939.html>).

La scoperta della fissione. 1939: le cose cominciarono a camminare molto in fretta

Da questo momento gli eventi si succedono a ritmo serrato. Frisch ritorna a Copenhagen e il 3 gennaio 1939 trova Bohr in partenza per un ciclo di conferenze negli Stati Uniti. Gli sottopone i risultati dell'esperimento di Hahn e Strassman e la loro interpretazione. Bohr sbarca negli USA il 16 gennaio con la notizia della fissione del nucleo di uranio.

26-28 gennaio: nel corso del V Convegno di fisica teorica a Washington, dedicato alla fisica delle basse temperature, la notizia si diffonde istantaneamente.

Al suo ritorno alla Columbia University Fermi ha già ben chiare le domande di cui vuole conoscere la risposta, come ha ricordato più tardi Herbert Anderson, a lungo collaboratore di Fermi negli anni successivi: “Vengono emessi neutroni nella fissione dell’uranio? Se è così, in quale numero? Come possono essere indotti a produrre ulteriori fissioni? Quali sono i processi che possono costituire un ostacolo? È ipotizzabile lo sviluppo di una reazione a catena?”.

Il 16 febbraio Fermi firma il suo primo articolo americano, “The fission of uranium”, che contiene due idee guida: la possibilità che sia l’U-235 responsabile della fissione e la legge secondo cui l’efficienza dei neutroni nei confronti della fissione è inversamente proporzionale alla loro velocità. Bohr era infatti arrivato alla conclusione che non sia l’U-238 il principale responsabile della fissione, bensì il più raro U-235 (0,7% nell’uranio naturale). A metà marzo è chiaro a Fermi, Szilard e Anderson che effettivamente vengono liberati neutroni nel corso del processo di fissione. Ciò non significava che una reazione a catena fosse possibile, il passo successivo dipende infatti dal numero preciso di neutroni emessi nel singolo processo, qualcosa di più difficile da misurare. Inizia la marcia serrata di Fermi verso il raggiungimento della reazione a catena controllata. Il suo lavoro sistematico va di pari passo con una serie impressionante di lavori che all’epoca resteranno tutti segreti. Lo smacco di non aver compreso e scoperto il fenomeno della fissione contribuì certamente all’accanimento con cui si dedicò al raggiungimento di questo obiettivo.

Per la fine del 1939 una cortina di segretezza cominciò infatti a calare sulle ricerche sulla fissione. Bohr, ancora negli Stati Uniti, si dichiarò tuttavia assai dubbioso riguardo l’effettiva utilizzazione del processo di fissione per generare una esplosione devastante.

Einstein e Roosevelt

All’inizio dell’estate del 1939 Leo Szilard, Edward Teller e Eugene Wigner, fisici ungheresi in esilio negli Stati Uniti, apprendono che la Germania nazista ha posto l’embargo sull’uranio cecoslovacco. Molto allarmati dalla possibilità che i tedeschi stiano preparando ad utilizzare la fissione dell’uranio per sviluppare armi nucleari, convincono Albert Einstein a firmare una lettera al Presidente degli Stati Uniti, Franklin Delano Roosevelt per avvertirlo del pericolo.

“Signor Presidente, alcune ricerche svolte recentemente da Enrico Fermi e Leo Szilard che mi sono stati comunicate sotto forma di manoscritto, mi inducono a ritenere che l’elemento uranio possa diventare in un vicino futuro una nuova e importante fonte di energia... Nel corso degli ultimi quattro mesi è diventata probabile, in seguito ai lavori di Joliot in Francia e di Fermi e Szilard in America, la possibilità di realizzare una reazione a catena in una gran massa di uranio, mediante la quale si genererebbe una grandissima quantità di energia e di elementi radioattivi. Ormai è quasi certo che ciò potrà essere realizzato in un immediato futuro. Questo fenomeno potrebbe condurre alla costruzione di bombe estremamente potenti di nuovo tipo”.

Il testo testimonia la drammatica consapevolezza con cui i fisici nucleari percepivano già a metà del ’39 i rischi bellici della fissione nucleare. La lettera viene presentata al Presidente soltanto l’11 ottobre 1939, quando la guerra in Europa è già scoppiata, e Roosevelt decise di dare subito vita a un *Uranium Committee*, con lo scopo di studiare le possibili applicazioni militari del processo di fissione dell’uranio.

Il 25 settembre 1940 Fermi e Anderson misurano la sezione d’urto di assorbimento del carbonio. Questa quantità, assai difficile da determinare, era centrale per la questione se un reattore nucleare potesse essere costruito o meno, visto che il carbonio sotto forma di grafite sembrava l’unico moderatore possi-

bile, e poteva essere utilizzato soltanto se non assorbiva neutroni. Effettivamente la sezione d'urto risultò piccolissima. Lo stesso Pegram, il direttore del programma di ricerca, chiese a Fermi di mantenere il segreto. Se fosse stato noto questo valore della sezione d'urto avrebbe cambiato probabilmente il corso degli eventi. Infatti i tedeschi conclusero erroneamente che il valore era molto più alto e abbandonarono il carbonio come moderatore tentando di usare il deuterio, di cui non ebbero mai una quantità sufficiente. A quel momento nessuno considerava che fosse possibile isolare una quantità rilevante del raro isotopo fissionabile U-235, né tantomeno si pensava al plutonio (peso atomico 94), che ancora non era stato scoperto. Queste sono le due sole sostanze fissionabili.

**Pearl Harbor.
"Avanti tutta"**

Fino alla primavera del 1941 veniva principalmente presa in considerazione la reazione a catena controllata e si dubitava che l'energia atomica potesse essere utilizzata in tempo utile per la guerra in corso. Queste opinioni ebbero una rapida evoluzione in concomitanza con la scoperta del plutonio e con la dimostrazione delle sue caratteristiche di elemento fissile. Nel frattempo venne diffuso il rapporto della commissione britannica MAUD, incaricata di seguire il lavoro sull'uranio. Un gruppo di fisici britannici aveva concluso che una bomba a uranio 235 era perfettamente possibile e in novembre un comitato speciale della *National Academy of Sciences* discusse esplicitamente la fattibilità di tale ordigno. Le cose cominciarono a procedere, ma, *sin dall'inizio Roosevelt mise in chiaro che l'uso politico e militare delle armi che ci si proponeva di costruire dovesse essere appannaggio di un piccolo gruppo, che egli stesso avrebbe presieduto. A ogni scienziato restava la decisione personale se aderire o meno ai progetti militari.*

Il 6 dicembre è annunciato l'*all-out effort* verso la fabbricazione della bomba. Il 7 dicembre 350 aerei giapponesi attaccano la flotta americana a Pearl Harbor, nelle Hawaii. Gli Stati Uniti sono in guerra. Roosevelt annuncia al popolo americano: "Ci siamo dentro tutti...".

A quel momento nessuna reazione a catena era ancora stata ottenuta, nessuna quantità apprezzabile di uranio 235 era stata separata dall'uranio 238, e solo piccole quantità di plutonio 239 erano state prodotte. Gli sforzi per costruire un'arma nucleare vennero accelerati al massimo in termini finanziari, scientifici e tecnici. Se armi del genere erano fattibili, gli Stati Uniti dovevano averle prima dei nazisti.

**1942:
"Il navigatore
italiano
è sbarcato nel
nuovo mondo"**

È in queste circostanze che fu messo in piedi il *Metallurgical Laboratory*. Il suo scopo primario era quello di sviluppare la reazione a catena con uranio naturale, e utilizzarla per produrre plutonio. Come direttore fu scelto Arthur H. Compton, dell'università di Chicago. Il 24 gennaio 1942 Compton scommette con Lawrence che la reazione a catena sarebbe stata realizzata a Chicago entro l'anno.

Nella primavera del 1942 Fermi si trasferisce a Chicago, insieme a Szilard e agli altri fisici della Columbia University, presso il *Metallurgical Laboratory* dove inizia la costruzione di un reattore nucleare a uranio naturale e grafite di cui Fermi assume la direzione scientifica.

Nel frattempo, nel mese di giugno, il Presidente Roosevelt decide di procedere con un programma su vasta scala finalizzato alla costruzione di bombe a fissione e affida all'esercito la direzione di quello che verrà chiamato il Progetto Manhattan.

Il 14 novembre il materiale necessario in termini di grafite e ossido di uranio è stato prodotto in quantità tali da poter decidere il montaggio della pila sotto le

gradinate dello stadio dell'Università di Chicago. La mattina del 2 dicembre, si procede al montaggio dell'ultimo strato, il 57°, quello che in base ai risultati delle misure avrebbe reso critica la pila innescando la reazione a catena. Sbarre di legno avvolte in sottili fogli di cadmio (un potente assorbitore di neutroni, come Fermi e il suo gruppo avevano scoperto a suo tempo) vengono inserite all'interno della pila per tenere sotto controllo la reazione. Fermi ha predisposto una serie di operazioni per raggiungere la soglia critica gradualmente e in modo perfettamente controllabile e orchestra il suo trionfo fino all'ultimo dettaglio, alla presenza di circa quaranta persone, quasi tutti scienziati del Metallurgical Laboratory. In effetti, una volta estratta completamente la barra di controllo, la pila diventa critica: ha luogo la prima reazione a catena autosostenuta nella storia dell'uomo. Leo Szilard, che tanto aveva fatto per spingere a utilizzare l'energia nucleare, commenta: "Questo è un giorno infausto per la storia dell'uomo", mentre Fermi, nel rapporto mensile di dicembre ("Experimental Production of a divergent Chain Reaction") che verrà declassificato soltanto dieci anni dopo [Fermi 1952], scrive semplicemente: "La struttura per la reazione a catena è stata completata il 2 dicembre e da allora ha continuato a funzionare in modo soddisfacente".

Nel mese di novembre il generale Groves informa Urey, Compton e Lawrence della sua intenzione di creare una struttura speciale per lo sviluppo dell'arma atomica, il cui direttore dovrebbe essere J. Robert Oppenheimer.

Il Progetto Manhattan

La data del 2 dicembre 1942 aveva segnato l'ingresso del mondo nell'era atomica. L'esperimento di Fermi era stato il momento culminante di anni di ricerche sulle proprietà dell'uranio. Il mondo era in guerra e fin dall'inizio queste ricerche erano state portate avanti con in mente la possibilità di costruire un ordigno nucleare. Nel luglio del 1943 Robert Oppenheimer fu nominato direttore scientifico del Progetto Manhattan. Fu lui stesso a suggerire Los Alamos nel Nuovo Messico come luogo dove collocare il laboratorio per costruire la bomba. A Oak Ridge veniva invece prodotto l'U-235 per diffusione gassosa (il metodo si basa sul fatto che il 235 è più leggero) e per separazione elettromagnetica (metodo che risultò fallimentare). L'impianto nucleare di Hanford, che andò in funzione nel settembre 1944, aveva invece lo scopo di produrre plutonio, e cominciò a farlo il 17 dicembre 1944.

Los Alamos crebbe come una piccola città, alla fine della guerra contava migliaia di abitanti, l'età media era di 32 anni, i più anziani, come Fermi e Oppenheimer ne avevano circa 40. La più imponente collezione di fisici nucleari del mondo vi si radunò, tra loro ben 8 futuri premi Nobel (Alvarez, Bethe, Bloch, Chamberlain, Feynman, Rabi, McMillan, Segrè).

Anche Bruno Rossi fu chiamato da Bethe a lavorare a Los Alamos: "Rifuggivo dall'idea di partecipare allo sviluppo di un ordigno così spaventoso, come sarebbe stata la bomba atomica. D'altra parte ero terribilmente preoccupato, così come molti altri, dal pericolo che in Germania, dove era stata scoperta la fissione, si fosse vicini a realizzare la bomba. Essendomi rassegnato al fatto che né accettando né rifiutando la richiesta di Los Alamos potevo sottrarmi a una pesante responsabilità, vidi che la scelta non poteva essere basata che sulla necessità di combattere l'immediato pericolo".

A quell'epoca ben pochi si domandavano se avrebbero dovuto continuare a lavorare alla costruzione di bombe. Una notevole eccezione fu J. Rotblat, futuro presidente del Pugwash, che otterrà nel 1995 il premio Nobel per la pace (<http://www.pugwash.org/award/Rotblatnobel.htm>; <http://www.nobel.se/peace/laureates/1995/rotblat-cv.html>).

Cominciano i dubbi

Nella primavera del 1945 Szilard comincia a nutrire forti timori sull'opportunità di utilizzare la bomba. In quel momento le sorti della guerra appaiono già segnate. Szilard ricordò anche che molti altri scienziati la pensavano nello stesso modo, almeno a Oak Ridge e Chicago: "Quasi senza eccezione, tutti i fisici creativi avevano dubbi circa l'uso della bomba. Non direi lo stesso dei chimici. I biologi la pensavano più o meno come i fisici" (<http://www.peak.org/~danneng/decision/usnews.html>).

Marzo 1945: Szilard, insieme ad altri, scrive un memorandum per Roosevelt, in cui afferma con chiarezza che l'uso della bomba sarebbe stato "un grave errore". Il documento di Szilard non viene fatto circolare a Los Alamos. Il 12 aprile muore Roosevelt e Szilard non riesce a farsi ricevere da Truman.

25 aprile: Truman nomina il cosiddetto "Interim Committee" con il compito di studiare il problema del controllo dell'energia nucleare in tempo di guerra e di pace, il problema del riassetto della ricerca nel dopoguerra e le leggi da promulgare una volta che il segreto fosse stato abolito. Come consulenti scientifici ne fanno parte Compton, Fermi, Lawrence e Oppenheimer (*Scientific Panel*).

8 maggio: resa della Germania e suicidio di Hitler, la guerra in Europa è finita. Per molti, ricorda Segrè, "Hitler era la personificazione del male e la giustificazione primaria della costruzione della bomba atomica. Ora che non poteva più essere usata contro di lui, nascevano dubbi".

10-11 maggio: secondo incontro del Target Committee a Los Alamos, nell'ufficio di Oppenheimer per discutere degli obiettivi da bombardare. Il successivo incontro della commissione viene fissato per il 28 maggio, al Pentagono (<http://www.dannen.com/decision/targets.html>).

1° giugno: l'Interim Committee approva le seguenti conclusioni: la bomba deve essere usata il più presto possibile, su un'installazione militare circondata da palazzi o case suscettibili di essere danneggiate e senza alcun avvertimento esplicito sulla sua natura.

11 giugno: viene presentata la prima versione del cosiddetto "Rapporto Franck", da inoltrare a Truman. Stilato da un gruppo di sette persone (J. Franck, D.J. Hughes, J.J. Nickson, E. Rabinowitch, G.T. Seaborg, J.C. Stearns e L. Szilard) il rapporto sconsigliava l'uso di bombe contro il Giappone e suggeriva una dimostrazione incruenta della nuova arma: "in presenza di rappresentanti di tutte le Nazioni Unite, nel deserto o su un'isola sterile". Oltre a concludere che la "decisione fatale" di utilizzare l'arma contro il Giappone dovesse essere presa in accordo con le altre nazioni, il rapporto terminava sottolineando che "l'uso delle bombe nucleari in questa guerra deve essere considerato un problema di politica nazionale a lungo raggio, piuttosto che un espediente militare, e questa politica deve essere diretta in primo luogo al raggiungimento di un accordo che permetta un reale controllo internazionale dei mezzi per la guerra nucleare" (<http://www.dannen.com/decision/franck.html>).

15-16 giugno: il Rapporto Franck viene discusso dallo Scientific Panel, formato dai consulenti scientifici dell'Interim Committee. Le difficoltà di dar luogo a una dimostrazione puramente tecnica che influenzasse efficacemente i giapponesi apparivano notevoli. Si riteneva che questi ultimi avrebbero continuato a combattere con la ben nota determinazione in assenza di una prova efficace. Con "il cuore pesante" lo Scientific Panel consegnò all'Interim Committee il seguente comunicato [Maltese 2003, p. 168]: "Riteniamo che questo uso dovrebbe essere tale da promuovere una soddisfacente sistemazione delle nostre relazioni internazionali. Nello stesso tempo riconosciamo l'obbligo del nostro Paese di usare l'arma per salvare vite americane nella guerra contro il Giappone. 1) Per raggiungere questi obiettivi raccomandiamo che prima che l'arma venga usata, non solo la Gran Bretagna, ma anche la Russia, la Francia e la Cina siano avvertite dei no-

stri notevoli progressi... 2) L'opinione dei nostri colleghi scienziati sull'uso iniziale di queste nuove armi non è unanime: si va dalla proposta di una mera dimostrazione tecnica all'uso militare più appropriato per indurre alla resa. Coloro i quali sono a favore di una dimostrazione vorrebbero mettere fuori legge l'uso delle armi atomiche... Altri sottolineano l'opportunità di salvare vite americane tramite un uso immediato, e ritengono che ciò migliorerà le prospettive internazionali: la loro preoccupazione principale è la prevenzione della guerra piuttosto che l'eliminazione di quest'arma specifica. Ci troviamo più vicini a quest'ultimo parere; non siamo in grado di proporre una dimostrazione tecnica che abbia probabilità di mettere fine alla guerra e non vediamo un'alternativa accettabile a un uso militare diretto. 3) Relativamente all'uso dell'energia atomica è chiaro che, come scienziati, non abbiamo alcun diritto di proprietà. È vero che, come scienziati, abbiamo avuto l'occasione di lavorare su questi problemi negli anni passati. Tuttavia, non abbiamo la pretesa di avere competenza speciale nella risoluzione dei problemi politici, sociali e militari che l'avvento dell'energia atomica porta con sé" (<http://www.dannen.com/decision/scipanel.html>).

27 giugno: memorandum di R. A. Bard, Sottosegretario alla Marina, al Segretario della Guerra Stimson: "Fin da quando sono stato in contatto con questo programma ho avuto l'opinione che prima che la bomba venga utilizzata contro il Giappone, quest'ultimo debba essere in qualche modo avvertito con un anticipo di due o tre giorni. La posizione degli Stati Uniti come grande nazione umanitaria e la tradizionale correttezza del nostro popolo costituiscono la base di questa opinione". Bard afferma di essere anche convinto che il governo giapponese sia in realtà in cerca di una qualche opportunità da utilizzare come pretesto per la resa e suggerisce di incontrare i rappresentanti giapponesi informandoli del proponimento di utilizzare l'atomica assicurandoli circa le sorti dell'imperatore e della nazione giapponese in caso di resa incondizionata. "Mi sembra molto verosimile che questa possa costituire l'opportunità che i giapponesi vanno cercando. Non mi pare che ci sia nulla in particolare da perdere nel seguire questo programma. La posta in gioco è talmente terribile che è mia opinione che un piano di questo tipo sia concretamente da prendere in considerazione" (<http://www.dannen.com/decision/bardmemo.html>).

1° luglio: Henry De Wolf Smyth firma la prefazione al primo Rapporto ufficiale sullo sviluppo della bomba atomica (*The Official Report on the Development of the Atomic Bomb Under the Auspices of the United States Government*): "La responsabilità ultima della politica della nostra nazione ricade sui suoi cittadini, essi possono affrontare questa responsabilità con saggezza soltanto se sono informati" (<http://nuclearweaponarchive.org/Smyth/>).

3 luglio: prima versione della petizione di Szilard ("basata su considerazioni di carattere puramente morale") di cui fu inviata copia anche a Los Alamos, dove tuttavia non venne fatta circolare. La lettera di accompagnamento discuteva la necessità che gli scienziati prendessero posizione da un punto di vista morale sull'uso della bomba. Szilard definiva esplicitamente le bombe atomiche "un mezzo per l'annientamento spietato di città... Una volta introdotte come strumento di guerra sarebbe difficile resistere a lungo alla tentazione di utilizzarle. Gli ultimi anni mostrano una tendenza crescente verso la crudeltà. Attualmente le nostre forze aeree, che colpiscono le città giapponesi, usano gli stessi metodi di guerra che la pubblica opinione americana ha condannato soltanto pochi anni fa quando erano i tedeschi ad attuarli contro le città inglesi" (<http://www.dannen.com/decision/45-07-03.html>). Va ricordato a questo proposito che gli stessi metodi erano stati spietatamente applicati nel corso dei bombardamenti a tappeto anglo-americani delle città tedesche, notoriamente abitate ormai soltanto da donne, vecchi e bambini (<http://www.dannen.com/decision/int-law.html>).

La petizione fu firmata da 59 persone del Chicago Metallurgical Lab, ma nel cercare di allargare il supporto, Szilard ne preparò una seconda versione.

13 luglio: copia della prima versione della petizione di Szilard venne inviata al Manhattan Project laboratory di Oak Ridge, dove 18 persone la firmarono modificando l'ultimo paragrafo e chiedendo che l'uso delle bombe atomiche, particolarmente contro le città, fosse sanzionato soltanto alle seguenti condizioni: 1) Sia data ai giapponesi l'opportunità di arrendersi in termini che assicurino la possibilità di uno sviluppo pacifico nella loro patria; 2) Siano avvertiti in modo convincente che il rifiuto ad arrendersi sarà seguito dall'uso di una nuova arma; 3) La responsabilità dell'uso delle bombe atomiche venga condivisa con i nostri alleati" (<http://www.dannen.com/decision/oakridge1.html>).

17 luglio: petizione al Presidente degli Stati Uniti. I firmatari, insieme a Szilard, sono 69 membri del Metallurgical Laboratory: "Fino a poco fa temevamo che gli Stati Uniti potessero essere attaccati con ordigni nucleari... Oggi, con la disfatta della Germania, questo pericolo è sventato e ci sentiamo obbligati ad affermare quanto segue... Se il Giappone si rifiuta ancora di arrendersi la nostra nazione potrebbe trovarsi, in determinate circostanze, forzata a ricorrere alle bombe atomiche. Un tale passo, tuttavia, non dovrebbe essere fatto in ogni caso senza considerare le responsabilità morali che questo implica... Le bombe atomiche a nostra disposizione rappresentano soltanto il primo passo... una nazione che dovesse creare un precedente nell'uso di queste forze della natura di recente liberate a scopi distruttivi potrebbe dover affrontare la responsabilità di aprire la porta a un'era di devastazione ad una scala inimmaginabile... Alla luce di tutto ciò, i sottoscritti, chiedono rispettosamente: primo, che voi esercitate il vostro potere come comandante in capo per fare in modo che gli Stati Uniti non ricorrano all'uso delle bombe atomiche in questa guerra a meno che, nonostante i termini imposti, una volta resi pubblici, il Giappone rifiuti di arrendersi; secondo, che in tale eventualità la questione riguardante l'uso o meno della bomba venga presa alla luce delle considerazioni esposte in questa petizione, insieme a tutte le altre responsabilità morali connesse" (<http://www.dannen.com/decision/45-07-17.html>).

Il Trinity Test e la Conferenza di Potsdam

Truman aveva deliberatamente ritardato il suo incontro con Stalin in attesa di poter fissare una data per il primo test nucleare (<http://www.dannen.com/decision/testdate.html>).

16 luglio: la prima esplosione nucleare della storia dal nome in codice di *Trinity Test*, ebbe luogo nel deserto del Nuovo Messico alle 5.30 del mattino.

Le reazioni dei testimoni furono contrastanti. Oppenheimer, entusiasta del successo, citò un frammento del Bhagavad Gita, "Ora sono la Morte, il distruttore dei mondi". Ken Bainbridge, il direttore del test, gli replicò, "Nessuno che l'abbia visto potrà dimenticare quel laido e terribile spettacolo. Ora siamo tutti figli di puttana".

All'epoca di Trinity il progetto della bomba atomica impiegava 130000 persone.

Truman, che in quel momento si trovava alla Conferenza di Potsdam, ne fu informato con un messaggio telegrafico in codice. La bomba era diventata una realtà.

24 luglio: Truman informa Stalin soltanto del fatto che gli Stati Uniti posseggono una "nuova arma dalla potenza distruttiva senza precedenti". Tutto quello che il premier russo disse fu che era lieto di ciò e che sperava che ne avrebbero "fatto buon uso contro i giapponesi". Nessuno allora ebbe il sentore che la mancata reazione di Stalin nascondesse una completa consapevolezza dell'intera faccenda: il programma nucleare sovietico era già pienamente in atto (<http://www.dannen.com/decision/potsdam.html>).

Nel diario del Presidente, alla data 25 luglio troviamo il seguente commento al Trinity Test, nel quale sono state messe in grassetto le frasi che apparentemente indicano un orientamento verso un uso dimostrativo della bomba (<http://www.dannen.com/decision/hst-jl25.html>): “Abbiamo scoperto la bomba più terribile della storia del mondo... Quest’arma dovrà essere usata contro il Giappone entro il 10 agosto. **Ho detto al Segretario della Guerra, Mr Stimson, di usarla in modo che militari e soldati ne siano gli obiettivi e non donne e bambini...** Lui ed io siamo d’accordo. **L’obiettivo sarà puramente militare** e noi emetteremo un avvertimento chiedendo ai giapponesi di arrendersi... sono sicuro che non lo faranno... Sembra la cosa più terribile mai scoperta, ma può diventare la più utile...”.

Tuttavia, quello stesso 25 luglio fu stilato l’ordine scritto che autorizzava l’uso della bomba atomica contro il Giappone dal Generale Groves e dal Presidente Truman; il Segretario della guerra Stimson lo approvò a Potsdam. L’ordine non menziona obiettivi militari o l’intento di risparmiare i civili. Come obiettivo furono scelte le città. Si prevedeva la possibilità di sganciare “Bombe addizionali” quando queste fossero state rese disponibili (<http://www.dannen.com/decision/handy.html>).

Gli Stati Uniti, l’Unione Sovietica e la Gran Bretagna approvarono i piani militari per l’invasione del Giappone e stilarono una dichiarazione in cui si richiedeva la resa incondizionata.

Il 26 luglio la dichiarazione di Potsdam fu trasmessa ai giapponesi dalle forze alleate.

Il 28 luglio il primo ministro Suzuki annunciò al mondo che avrebbero ignorato l’ultimatum.

**Hiroshima e
Nagasaki:
Harry Truman
annuncia il
bombardamento
sul Giappone**

Il 6 agosto 1945, alle 8.15 del mattino, l’equipaggio del B-29, ribattezzato *Enola Gay*, sgancia a 10000 metri di altezza un ordigno di quattro tonnellate, con all’interno un cuore di uranio 235. Come previsto, a 580 metri dal suolo, la bomba *Little Boy* esplose sulla città giapponese di Hiroshima. Un lampo di fuoco è seguito da un enorme fungo e la città viene cancellata. “Dio mio, cosa abbiamo fatto!” esclama il secondo pilota. L’aereo ritorna alla base. In un istante decine di migliaia di persone erano rimaste uccise e altre decine di migliaia ferite. Alla fine del 1945 salirono a 140000 i morti causati dall’esplosione (<http://www.atomicarchive.com/Effects/index.shtml>).

L’8 agosto Stalin dichiara guerra al Giappone.

Il 9 agosto, su Kokura il cielo è nuvoloso. L’aereo cambia obiettivo. Alle 11 è su Nagasaki. Questa volta la bomba, *Fat Man*, ha un cuore di Plutonio 239. In una frazione di secondo restarono ferite o uccise tra sessantamila e settantamila persone, ma nel giro di cinque anni salì a 200000 il numero di morti ricollegabili alla bomba.

Il 9 agosto 1945, alle 10 di sera (orario di Washington) Truman annuncia via radio il bombardamento su Hiroshima nell’ambito di un lungo discorso sulla Germania (<http://www.dannen.com/decision/hst-ag09.html>):

“Il mondo prenderà atto che la prima bomba atomica è stata sganciata su Hiroshima, *una base militare*. Il motivo è che nel primo attacco volevamo evitare, per quanto possibile, l’uccisione di civili. Ma l’attacco è solo un avvertimento di cose che potranno accadere. Se il Giappone non si arrende, le bombe saranno sganciate sulle sue industrie di guerra e, sfortunatamente, migliaia di civili perderanno la vita. Esorto i civili giapponesi a lasciare le città industriali immediatamente, e a salvarsi dalla distruzione”.

Sembra incredibile che il Presidente degli Stati Uniti stesse presentando come *base militare* Hiroshima, una città di 350000 abitanti, seppure ricca di industrie e depositi militari.

Mentre Truman parlava a milioni di americani, il secondo ordigno nucleare aveva già distrutto la città di Nagasaki. Era cominciata la "guerra fredda".

Bibliografia

- E. SEGRÈ, *Enrico Fermi fisico*, Zanichelli 1971.
- B. PONTECORVO, *Enrico Fermi*, Studio Tesi, 1993.
- G. MALTESE, *Enrico Fermi in America. Una biografia scientifica:1938-1954*, Zanichelli 2003.
- M. DE MARIA, *Enrico Fermi*, Le Scienze, Anno II, n. 8, Aprile 1999.
- F. CORDELLA, A. DE GREGORIO, F. SEBASTIANI, *Enrico Fermi. Gli anni italiani*, Editori Riuniti, 2001.
- L. FERMI, *Atomi in Famiglia*, Quaderno N. 12, *La Fisica nella Scuola*, XXXIV, n.3, luglio-settembre 2001.
- G. BATTIMELLI, *L'eredità di Fermi. Storia fotografica dal 1927 al 1959*, Editori Riuniti 2003.
- C. BERNARDINI e L. BONOLIS (a cura di), *Conoscere Fermi*, Società Italiana di Fisica, 2001.
- B. ROSSI, *Momenti della vita di uno scienziato*, Zanichelli.
- L. BONOLIS, *Ettore Majorana*, Le Scienze, Anno V, n. 27, Giugno 2002.
- G. BRUZZANITI, *Dal segno al nucleo*, Torino, Bollati Boringhieri, 1993.
- L. SZILARD, *La coscienza si chiama Hiroshima*, a cura di S.R. Weart e G. Weiss Szilard, Editori Riuniti 1985.
- O. HAHN, *Otto Hahn: a scientific autobiography*; Charles Scribner's Sons 1966.
- P. GRECO, *Hiroshima*, Editori Riuniti 1995.
- S. MAURIZI, *Una bomba, dieci storie. Gli scienziati e l'atomica*, Mondadori 2004.
- R. RHODES, *L'invenzione della bomba atomica*, Rizzoli 1990.
- T. POWERS, *La storia segreta dell'atomica tedesca*, Mondadori 1994.
- J. FEST, *La disfatta. Gli ultimi giorni di Hitler e la fine del Terzo Reich*, Garzanti 2003.
- R.T. SYLVES, *The Nuclear Oracles - A Political history of the General Advisory Committee of the Atomic Energy Commission, 1947-1977*, Iowa State University Press.
- H. DE WOLF SMYTH, *Atomic Energy for Military Purposes. The Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the Auspices of the United States Government, 1940-1945*, Princeton University Press (1945), <http://nuclearweaponarchive.org/Smyth/>.
- A.K. SMITH, *A Peril and a Hope: The Scientists' Movement in America 1945-1947*, University of Chicago Press (1965).
- E. FERMI, "Experimental Production of a Divergent Chain Reaction", *American Journal of Physics* 20 (9), 536-558 (1952).
- G. ACOCCELLA, F. GUERRA, N. ROBOTTI, "Enrico Fermi's discovery of neutron-induced artificial radioactivity: the recovery of his first laboratory notebook", *Physics in Perspective* 6 (2004) 29-41.
- C. WEINER, 1932 - "Moving into the new physics", *Physics Today*, maggio 1972, p. 40.
- J. BROMBERG, "The Impact of the Neutron:Bohr and Heisenberg", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1971, vol. 3, 307.
- R.H. STUEWER, "Rutherford's satellite model of the nucleus", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1986, vol. 16, 320.
- E. AMALDI, "From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission", *Physics Report* 111 (1984), 1-332.
- E. AMALDI, "Neutron work in Rome in 1934-36 and the discovery of uranium fission", *Rivista di Storia della Scienza* 1 (1984), 1-24.
- G. DRAGONI, "L'illusoria scoperta del primo elemento transuranico", *Physica* 4 (1973), 351-374.
- O. FRISCH e J.A. WHEELER, "The Discovery of Fission", *Physics Today* 20, 11 (1967), 43-52.
- E. FERMI, "The Neucleus", *Physics Today* 5, 3 (1952), 6-9.
- R.H. STUEWER, "The origin of the Liquid-Drop Model and the Interpretation of Nuclear Fission", *Perspective on Science* 2 (1994), 76-129.
- R.L. SIME, "The Search for Transuranium Elements and the Discovery of Nuclear Fission", *Physics in Perspective* 2 (2000), 48-62.
- L.A. TURNER, "Nuclear Fission", *Reviews of Modern Physics* 12, 1 (1940), 1-27.
- A. WATTENBERG, "The Birth of the nuclear age", *Physics Today* 46, 1 (1993), 44-51.

- E. SEGRÈ, "The Discovery of nuclear fission", *Physics Today* 42, 7 (1989), 38-43.
- H. BETHE, "Nuclear Physics", *Review of Modern Physics*, Vol. 71, N. 2, 1999.
- S.R. WEART, "Scientists with a secret", *Physics Today* 29, 2 (1976), 23-30.
- S. GOLDBERG, "Groves and the Scientists: Compartmentalization and the Building of the Bomb", *Physics Today* (agosto 1995) 38-43.
- R.H. STUEWER, "Bringing the news of fission to America", *Physics Today* 38 (10) (1985), 49-56.
- H.L. ANDERSON, "Early days of the chain reaction", *Bulletin of the Atomic Scientists* 29 (4) (1973), 8-12.
- H.L. ANDERSON, "The Legacy of Fermi and Szilard", *Bulletin of the Atomic Scientists* 30 (9) (1974), 56-62 e 30 (10), 40-47.
- A. WATTENBERG, "The building of the first chain reaction pile", *Bulletin of the Atomic Scientists* 30 (6) (1974), 51-57.
- A. WATTENBERG, "December 2, 1942: the event and the people", *Bulletin of the Atomic Scientists* 38 (12) (1982), 22-32.
- A. WATTENBERG, "A lovely experiment", *Bulletin of the Atomic Scientists* 48 (12) (1992), 41-43.
- W.F. LIBBY, "Chemistry and the Atomic Nucleus", *American Journal of Physics* 26 (8), 524-536 (1958).
- L. BONOLIS, "Così la fisica andò alla guerra", dossier/sessant'anni dall'atomica, *Sapere*, n. 3 (1038), giugno 2005, 12-29.
- B. CAMERON REED, Resource Letter MP-1: "The Manhattan Project and related nuclear research", *American Journal of Physics*, Vol. 73, 9, 805-811, Settembre 2005.
- Storia della fisica nucleare e delle armi nucleari: <http://www.english.upenn.edu/~traister/nuclear.html>.
- Leo Szilard Online: <http://www.dannen.com/szilard.html>.
- Archivio atomico di Trinity: <http://www.atomicarchive.com>.
- Documenti originali che riguardano la decisione di utilizzare ordigni atomici: <http://www.dannen.com/decision/index.html>.
- Exhibit sulla scoperta della fissione: <http://www.aip.org/history/mod/fission/fission1/01.html>.

In copertina, un'immagine del monumento nel parco del Memoriale della Pace a Hiroshima, inaugurato nel 1958.

Per i giapponesi le sofferenze della popolazione civile causate dalla bomba atomica sono simbolizzate dalla vicenda di Sadako Sasaki. Nata a Hiroshima nel gennaio del 1943, aveva poco più di due anni quando scoppiò la bomba. Salvatasi miracolosamente dal crollo della sua casa, si ammalò successivamente di leucemia a causa degli effetti delle radiazioni e nel 1955 morì a soli 12 anni. Sadako aveva tanta voglia di vivere, e nelle lunghe giornate in ospedale si dedicava a costruire piccoli origami raffiguranti ben auguranti gru. Nell'antichità in Giappone la gru veniva ritenuta un uccello capace di vivere mille anni e perciò era considerato augurio di salute e buona fortuna; si diceva persino che, se un malato arrivava a confezionare mille gru di carta, avrebbe ottenuto sicuramente la guarigione. Sadako ne aveva composte più di milletrecento quando morì, dopo otto mesi di malattia, la mattina del 25 ottobre 1955. Da quel giorno migliaia e migliaia di gru di carta, di tutte le dimensioni e di tutti i colori, prendono continuamente forma dalle mani dei bambini e di tutti gli abitanti di Hiroshima, e vanno a costituire ghirlande, disegni, composizioni di ogni tipo che vengono utilizzate al posto dei fiori per onorare tutti i luoghi della memoria. In ricordo di tale atto di speranza, nel Parco della Pace della città si trova un monumento, dedicato a tutti i bambini vittime della bomba atomica, raffigurante Sadako a cavalcioni di una bomba nel gesto di innalzare al cielo una gru di carta. Ai suoi piedi, migliaia di ghirlande di gru donate dai visitatori incorniciano la targa recante l'iscrizione:

ecco la nostra speranza e preghiera: che la pace regni nel mondo

L'origami della gru, è stato elevato a simbolo di pace e fratellanza per tutti i popoli nel mondo.