

## Il programma nucleare giapponese durante la seconda guerra mondiale

Alessandro Pascolini

Dipartimento di Fisica dell'Università di Padova e

Sezione di Padova dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

(nota presentata dal socio Giovanni Costa)<sup>1</sup>

### 1. Introduzione: condizioni per un'arma nucleare

Non appena la comunità scientifica mondiale venne a conoscenza nel dicembre 1938 della scoperta del processo di fissione nucleare e dell'enorme quantità di energia emessa in ogni reazione [nota 1], frenetiche ricerche vennero intraprese da tutti i fisici nucleari, e già nel gennaio 1939 si sapevano alcuni fatti fondamentali: il processo di fissione riguarda solo l'isotopo raro uranio-235, presente nell'uranio naturale nella misura dello 0,72%; la reazione viene innescata da un neutrone; in ogni fissione vengono emessi due o tre neutroni (Weart, 1977).

Quest'ultimo fatto in particolare apriva la possibilità, almeno in linea di principio, di un processo a cascata con un aumento esponenziale delle fissioni fino a coinvolgere quantità macroscopiche di materiale fissile con conseguente emissione di enormi quantità di energia (reazione a catena). Nella grave situazione mondiale del 1939 fu chiaro agli scienziati che si poteva così ipotizzare la produzione di un'arma di indicibile potenza distruttrice e ricerche con più o meno esplicite finalità militari iniziarono immediatamente in Francia, Germania, Regno Unito, Unione Sovietica e Stati Uniti, cui si aggiungerà in seguito anche il Giappone.

Le attività giapponesi in questo settore si possono dividere in cinque fasi:

1. studi scientifici liberi sul fenomeno fisico (1939-40),
2. indagini preliminari da parte dei militari (1940-42),
3. analisi di fattibilità da parte di un comitato di scienziati sotto gli auspici della marina (luglio 1942-marzo 43),
4. in progetto "Ni-go" a Tokyo finanziato dall'esercito (autunno 1942-aprile 45),
5. il progetto "F-go" a Kyoto finanziato dalla marina dall'estate 1943 alla resa del Giappone.

Mentre la prima fase avvenne al di fuori di ogni intento applicativo, le altre miravano precisamente alla produzione di un'arma nucleare (Dower, 1978).

Precisiamo fin d'ora che non si tratta di articolazioni di un unico programma giapponese per la bomba, ma iniziative largamente indipendenti e disarticolate.

Per valutare correttamente la portata delle attività giapponesi è opportuno sintetizzare quali conoscenze scientifiche e quali acquisizioni materiali e tecnologiche sono necessarie per produrre un'arma partendo dalle cognizioni disponibili nel 1939. [nota 2]

È anzitutto necessario conoscere con precisione le proprietà fisiche delle reazioni indotte dai neutroni su nuclei dei vari isotopi dell'uranio e del plutonio (materiale fissile artificiale), in particolare il numero di neutroni emessi nelle varie reazioni di fissione, la loro energia, l'andamento della probabilità (sezione d'urto) dei processi di fissione e di cattura neutronica in funzione dell'energia dei neutroni. Occorre quindi verificare la possibilità effettiva di una reazione a catena autosostenuta in una "pila atomica", prototipo di un reattore nucleare. La sua realizzazione presuppone lo sviluppo di una teoria del reattore ("formula dei quattro fattori" [nota 3]), la

---

<sup>1</sup> In corso di pubblicazione negli Atti dell'Accademia Galileiana di Padova

comprensione della legge di diffusione dei neutroni nei vari mezzi che lo compongono e l'acquisizione della metallurgia dell'uranio. Inoltre, ovviamente, occorrono sufficienti quantità di uranio naturale in forma metallica e di un "moderatore", per aumentare la frequenza delle reazioni di fissione rallentando i neutroni prodotti dalla fissione (neutroni "veloci" da 20 000 km/s) a velocità termica (inferiore a 2 km/s); buoni moderatori sono acqua pesante o grafite di alta purezza. La prima reazione a catena realizzata a Chicago dal gruppo di Enrico Fermi utilizzò 400 t di grafite purissima, 6 t di uranio metallico e 50 t di ossido d'uranio; la prima pila funzionante ad acqua pesante (la CP3 di Argonne) impiegava 6,5 t di acqua pesante e circa 10 t di uranio. [nota 4]

È essenziale anche sviluppare metodi per la produzione in quantità adeguate dei materiali fissili, uranio-235 o plutonio-239. L'arricchimento dell'uranio naturale nell'isotopo fissile richiede preliminarmente la produzione di plasma di ioni uranio per i metodi magnetici o di esafluoruro di uranio per i metodi a partire dalla forma gassosa e liquida. I più efficienti metodi di arricchimento attuali, basati su ultracentrifughe, richiedono 180 kg di uranio naturale per ogni kg di uranio arricchito al 90%; ricordiamo che la prima bomba atomica a uranio ne utilizzò 64,1 kg.

La "via del plutonio", non esistente in natura, prevede la realizzazione di reattori nucleari di media potenza (tipicamente 250 MW), richiedenti oltre 200 t di uranio metallico, moderati a grafite o acqua pesante, in grado di generare in modo controllato gran numero di neutroni per trasformare l'uranio più comune (uranio-238) in nettunio, che poi decade in plutonio. Vanno quindi sviluppate la metallurgia del plutonio e le tecnologie di estrazione del plutonio dalle barre di uranio esausto, per cui è anche necessario ricorrere a manipolazione a distanza.

Bisogna infine pervenire a una teoria della bomba sulla base dell'evoluzione temporale dei parametri fisici (temperatura, pressione e fase) dei componenti dell'ordigno, e della diffusione dei neutroni: una corretta analisi porta alla conclusione che si può raggiungere un'esplosione solo utilizzando i neutroni veloci in un ordigno supercritico, ossia con una data quantità di sostanza fissile della necessaria purezza e con opportune soluzioni per evitare la perdita di neutroni alla superficie. Particolarmente delicata è l'individuazione di un sistema d'innesco che mantenga il materiale fissile in una sicura condizione sottocritica prima della detonazione e lo porti rapidamente (tempi dell'ordine del millisecondo) in condizioni supercritiche, impedendo la dispersione della massa finché non abbia subito fissione la quantità di materiale necessaria per produrre un'esplosione della potenza voluta.

Queste condizioni sono in conflitto fra loro e la loro ottimizzazione richiede vaste competenze scientifiche e tecniche in molti campi. Com'è noto, durante il secondo conflitto mondiale solo il programma congiunto anglo-americano riuscì a risolvere tutti i problemi e a produrre armi nucleari a uranio e a plutonio, con un imponente impegno di uomini e di mezzi (Hewlett e Anderson, 1962; Rhodes, 1986).

## **2. Le ricerche di fisica moderna in Giappone**

I fisici giapponesi giunsero all'appuntamento con la fissione in condizioni particolarmente favorevoli, rispetto ai colleghi di altri paesi. Stavano allora maturando i frutti della valorizzazione della scienza a seguito del grande rinnovamento della società giapponese dopo la fine del potere dello shogun e il ristabilimento dell'imperatore (1868); il nuovo regime inviò giovani in Europa e negli USA a studiare lingue, scienze, medicina e ingegneria e vennero fondate università di stile occidentale a Tokyo, Kyoto, Osaka e altre sedi.

Nel corso del XX secolo i fisici giapponesi furono in grado di produrre ricerche ed ottenere risultati pionieristici in vari campi della fisica fondamentale. Hantaro Nagaoka [nota 5] propose nel 1903 un modello atomico nucleare, la cui struttura sarà confermata sperimentalmente da Ernest Rutherford nel 1911; Jun Ishiwara, dopo un periodo di studi in Europa, anche con Einstein, introdusse in Giappone la teoria della relatività (1915).

Alla fine della vittoriosa prima guerra mondiale e in seguito alla forte crescita economica, grandi compagnie investono nella realizzazione di laboratori tecnologici, e nel 1917 partecipano col governo alla creazione a Tokyo dell'Istituto di ricerche fisiche e chimiche "Riken" (Rikagaku Kenkyuio), con l'obiettivo di fornire supporto scientifico alle industrie, ma con spazio per ricerche di base: di fatto permise un enorme balzo in avanti della fisica fondamentale.

Nel 1919 Yoshio Nishina, allora giovane ricercatore di Riken, venne inviato in Europa; studiò con Rutherford a Cambridge e con Max Born a Gottinga, e rimase 6 anni nel laboratorio di Niels Bohr a Copenhagen, proprio mentre nasceva la nuova meccanica quantistica, contribuendo in particolare all'elettrodinamica quantistica (formula di Klein-Nishina). Tornato in Giappone nel 1928 portò con sé, oltre alle tematiche e ai metodi della fisica più avanzata, anche uno stile di ricerca democratico e aperto, in contrasto con le norme autoritarie delle università giapponesi del tempo. Ottenne la visita di grandi scienziati europei, Werner Heisenberg, Paul Dirac e lo stesso Niels Bohr, anche per formare i giovani ricercatori sulle tematiche più avanzate (Brown e Nambu, 1998). Nishina lanciò all'interno di Riken ricerche di fisica nucleare e sui raggi cosmici, le frontiere della ricerca di quegli anni, sviluppando sia le attività sperimentali che le indagini teoriche, che portarono nel 1934 alla formulazione della teoria mesonica delle forze nucleari da parte di Hideki Yukawa. [nota 6] Il gruppo di raggi cosmici si dedicò alla ricerca del "mesone di Yukawa" e nel 1937 Masa Takeuchi individuò nella sua camera di Wilson una particella candidata a questo ruolo, poco dopo la scoperta di Carl D. Anderson e Seth. H. Neddermeyer. [nota 7]

Per la fisica nucleare, Nishina dotò il laboratorio di un acceleratore Van de Graaff, con l'aiuto della Società giapponese per la promozione della ricerca scientifica (Gakujutsu-shinkokai); [nota 8] nel 1935 decise di realizzare per il suo nuovo Laboratorio di ricerche nucleari di Riken un ciclotrone, lo strumento più potente per la fisica nucleare. Strinse rapporti di collaborazione con Ernest O. Lawrence, che aveva inventato il ciclotrone a Berkeley nel 1932 e ne stava sviluppando di sempre più potenti, a cui inviò per apprendere la tecnologia Tameichi Yasaki e Ryokichi Sagane, che diverrà un compiuto esperto nel settore; con il sostegno finanziario della Gakujutsu-shinkokai e della fondazione Mitsui Ho-onkwai inaugurò nel 1937 un ciclotrone da 26 pollici, il secondo al mondo dopo quello di Lawrence (Dong-Won, 2006). Il ciclotrone verrà utilizzato da ricercatori non solo di Riken, ma di varie università giapponesi anche per studi di biologia e per la produzione di isotopi artificiali di interesse medico.

Intanto il suo principale obiettivo era la costruzione di un ciclotrone da 60 pollici, che avrebbe enormemente ampliato il campo di ricerca. Le due istituzioni finanziatrici approvarono il progetto nel 1936 e Lawrence non solo mise a disposizione il progetto elaborato per il proprio analogo ciclotrone e accolse un gruppo di fisici di Riken, ma aiutò Nishina nell'acquisto del grande magnete da 180 tonnellate da una ditta americana e fornì della strumentazione non disponibile in Giappone. L'attacco di Pearl Harbour troncò ogni legame con gli Stati Uniti e la costruzione del nuovo ciclotrone continuò fra grandi difficoltà durante tutta la guerra; primi esperimenti a prestazioni ridotte furono possibili dall'estate 1944.

Oltre che a Riken, anche presso alcune università iniziarono ricerche di fisica teorica e sperimentale sulle nuove tematiche, in particolare alle università imperiali di Kyoto, col gruppo di Bunsaku Arakatsu, e di Osaka, con le ricerche sulla diffusione di neutroni del gruppo di Seishi Kikuchi, e a Nagoya, ove Shoichi Sakata promuoveva ricerche teoriche avanzate con Yukawa e Mitsuo Taketani. Sia Kyoto che Osaka si dotarono di acceleratori elettrostatici e di piccoli ciclotroni per ricerche di fisica nucleare.

Va osservato che gli importanti sviluppi teorici e sperimentali nel campo della fisica moderna avvenivano in una situazione istituzionale largamente ostile, basata sul sistema elitario e feudalistico delle università, ove tutto il potere e i finanziamenti erano concentrati nelle mani del cattedratico; in questo modo le collaborazioni erano difficoltose e rare, e in molte sedi i cattedratici erano rimasti legati alla fisica classica e non accettavano la meccanica quantistica e la relatività. Il laboratorio di Nishina veniva a rompere il rigido equilibrio del sistema e quindi suscitava invidie e ostilità. Una conseguenza dello iato fra l'avanguardia di fisici sperimentali e teorici e il rimanente mondo accademico verrà a riflettersi anche nella fase delle ricerche applicate in collaborazione con l'industria e i militari (Dower 1978).

D'altro canto, nonostante il crescente autoritarismo politico giapponese, la progressiva repressione e censura delle opposizioni e la "guerra ideologica" (shisosen) a ogni forma di dissenso e idea non allineata alle visioni del governo e dei militari, non vi furono limitazioni alla libertà di ricerca sulla base di ideologie razziali, come avvenne in Germania col movimento della "fisica ariana", né vi furono purghe di scienziati, anche se alcuni vennero imprigionati perché marxisti.

La disponibilità di macchine acceleratrici permise ai fisici nucleari giapponesi di inserirsi immediatamente nel campo di ricerca sulla fissione nucleare. A Riken si misurarono le sezioni d'urto di fissione dell'uranio e del torio con neutroni veloci prodotti dal ciclotrone mediante la reazione litio-deuterio; un organico programma di ricerche permise analisi dettagliate dei vari processi legati alla fissione e nel 1940 venne scoperto l'isotopo uranio-237. A Kyoto il gruppo di Arakatsu studiò processi di fotofissione di uranio e torio utilizzando un acceleratore elettrostatico Cockcroft-Walton e nel 1940 determinò in 2,6 il numero medio di neutroni emessi nella fissione dell'uranio. In questa fase delle ricerche sperimentali i giapponesi procedevano in armonia con i maggiori centri mondiali.

### **3. Origine dei programmi nucleari dell'esercito e della marina**

A differenza degli altri paesi in cui furono gli scienziati ad attirare l'attenzione dei governi sulle prospettive militari della fisica nucleare, in Giappone la prima mossa venne da parte dei militari, anni prima della scoperta della fissione: nel 1934 la marina finanziò uno studio per determinare se i recenti esperimenti con neutroni lenti di Fermi potessero portare allo sviluppo di una "superbomba". Le conclusioni furono negative, ma ufficiali con competenze tecniche continuarono a monitorare la ricerca nucleare e nel 1937 la marina invitò Tsunesaburo Asada dell'università di Osaka a tenere lezioni all'Istituto di ricerche tecniche della marina (Kaigun Gijutsu Kenkyu-jo, KGK) di Tokyo e all'Istituto di ricerca dell'aeronautica della marina a Yokosuka (Grunden et al., 2005). Questi contatti ruppero la tradizionale netta separazione fra militari e mondo scientifico. I militari comunque diffidavano degli scienziati civili, perché molti avevano vissuto all'estero e coltivavano rapporti internazionali, ed alcuni erano sospettati di aderire ad idee antitetiche alla politica interna e all'imperialismo giapponese in Asia. La sconfitta dell'esercito giapponese

da parte dell'Unione Sovietica nella battaglia di Khalkhin Gol nel 1938 e i clamorosi successi della Blitzkrieg tedesca in Polonia nel 1939 dimostrarono ai militari giapponesi l'importanza della tecnologia militare; tuttavia questo non portò a una decisa rivalutazione degli scienziati civili, quanto piuttosto alla creazione di centri di ricerca militari. Va notato che gli scienziati non avranno alcun peso nella politica giapponese durante la guerra, soprattutto in confronto a quanto succedeva negli Stati Uniti e in Germania negli stessi anni.

L'attenzione militare mirata sulla fissione venne dall'incontro casuale in treno all'inizio dell'estate 1940 tra Nishina e il tenente generale Takeo Yasuda, che era un ingegnere elettrico come formazione e dirigeva l'Istituto di ricerche di tecnologia aeronautica dell'esercito (Rikugun Koku Gijutsu Kenkyu-jo). Nishina illustrò gli studi in corso a Riken e disse che era possibile intraprendere ricerche per verificare la fattibilità di una bomba a fissione. Nishina non aveva motivazioni ideologiche o le preoccupazioni che negli USA e in Inghilterra spinsero scienziati profughi dalla Germania hitleriana a promuovere le ricerche per controbattere la minaccia di una bomba nazista; quello che gli stava allora a cuore era il completamento del grande ciclotrone e vedeva in una collaborazione con i militari la possibilità di finanziamenti e risorse per la nuova macchina.

Yasuda rimase eccitato all'idea della bomba e ordinò al tenente colonnello Tatsusaburo Suzuki, suo aiutante con buona preparazione scientifica, di indagare sulle possibilità di produrre una tale arma. Suzuki si consultò con Sagane, che era stato suo professore all'università, e nell'ottobre 1940 presentò a Yasuda un rapporto sulla disponibilità di uranio: tenendo conto delle risorse della Corea e della Birmania, concluse che il Giappone aveva accesso a quantità di uranio sufficienti per la produzione della bomba, ma tale stima non teneva conto di effettivi aspetti tecnici del problema della massa critica. Il rapporto, andato perso, venne distribuito tra i militari e a qualche ditta privata. A indicazione della bassa priorità riconosciuta al programma atomico, Yasuda lasciò passare molti mesi prima di intraprendere una qualche azione e solo nell'aprile 1941 ordinò a Suzuki di chiedere al direttore del Riken di approfondire la questione; le ricerche vennero affidate a Nishina nel giugno 1941. All'inizio del 1942 Yasuda discusse del progetto con Hideki Tojo, allora primo ministro e ministro della guerra, ricevendone l'approvazione; [nota 9] ciò segnò l'inizio formale del programma dell'esercito, in seguito denominato "ricerca Ni-go" (Ni-go kenkyu).

Altri dipartimenti dell'esercito tentarono di inserirsi nel programma nucleare. Un caso tipico è costituito dall'Istituto di ricerca del secondo arsenale dell'esercito di Tokyo (Tonizo): alcuni ufficiali, avendo letto in una rivista tedesca di esplosivi un articolo di Alfred Stettbacher (1940) su aspetti fondamentali della fissione, invitarono un fisico dell'università di Kyoto, Tokutaro Hagiwara, citato nell'articolo, a tenere una lezione sulla fissione nel maggio 1941, e nel giugno 1943 si rivolsero a Nishina. Anche avendo appreso che il programma nucleare era dell'aeronautica, chiesero ed ottennero da Nishina di mantenere i contatti e la preparazione di un rapporto, che è stato recuperato recentemente.

L'articolo di Stettbacher attirò anche l'attenzione di ufficiali della marina, in particolare del capitano Yoji Ito, un ingegnere elettronico del KGK, che iniziò a interessarsi all'energia atomica e nell'autunno 1941 iniziò uno studio di fattibilità sulle possibili applicazioni militari per la marina, consultando Sagane. Nel marzo 1942 presentò al KGK il suo rapporto: era molto probabile che gli americani stessero sviluppando l'energia atomica con la collaborazione di scienziati ebrei rifugiati dall'Europa; la fissione nucleare poteva servire per la propulsione marina e i militari

giapponesi dovevano interessarsi alla questione. Il KGK aggiunse agli obiettivi anche la produzione di armi nucleari e invitò Ito a organizzare un comitato per la ricerca sulle applicazioni della fisica nucleare. Quando, nel giugno 1942, dopo la sconfitta navale giapponese a Midway, l'ammiraglio Isoroku Yamamoto, comandante della flotta congiunta della marina imperiale giapponese, ordinò al KGK di sviluppare armi "epocali", Ito presentò due progetti: un "raggio della morte" basato su magnetroni di alta potenza, e la produzione di armi nucleari. Quest'ultimo progetto fu affidato al Comitato sulle ricerche nelle applicazioni della fisica nucleare (Kakubutsuri oyo kenkyu iinkai), formalmente costituito sotto la direzione di Nishina, che chiese di chiamarlo semplicemente Comitato fisica. Il comitato si riunì la prima volta il 18 luglio 1942 con la partecipazione di 11 scienziati di altissimo livello, fra cui Nagaoka, Masaharu Inoue, Kikuchi, Sagane, Asada e Yasushi Watanabe, un ingegnere elettronico dell'università di Tohoku (Grunden et al., 2005).

Indipendentemente dal KGK, un altro dipartimento della marina, l'Ufficio della flotta, iniziò a interessarsi alla fissione, sempre a seguito dell'articolo di Stettbacher, che aveva attirato l'attenzione del tenente-comandante Tsutomu Murata e dei suoi collaboratori. I capitani Matao Mitsui e Megumo Iso decisero di approfondire la questione e chiesero ad Arakatsu di condurre ricerche per il loro Ufficio, formalizzandole nel progetto "Ricerca fondamentale sull'uranio". Nel maggio 1943 la marina decise di potenziare le ricerche a Kyoto creando un progetto ufficiale denominato "F-go" (F-go kenkyu), sempre affidato ad Arakatsu. I programmi Ni-go e F-go proseguiranno fino alla fine della guerra.

#### **4. Il progetto Ni-go dell'aeronautica dell'esercito**

Le ricerche a Riken iniziarono senza un grande senso d'urgenza e la maggior parte del centinaio di fisici del gruppo di Nishina continuò i propri studi di fisica teorica, sui raggi cosmici e di fisica nucleare, mentre ferveva il lavoro di allestimento del nuovo ciclotrone.

Il primo obiettivo fu la misura accurata delle sezioni d'urto di fissione e di cattura neutronica dell'uranio, per cui venne utilizzato il ciclotrone da 26 pollici. Intanto uno studio di fattibilità della reazione a catena completato alla fine del 1940 da parte di Osamu Minakawa e Hidehiko Tamaki dimostrava che una qualunque struttura di uranio naturale moderato ad acqua non poteva sostenere una reazione a catena.

Con l'aggravarsi della situazione militare giapponese l'attenzione per il progetto Ni-go crebbe e nel dicembre 1942 Nishina chiese a Tamaki di approfondire lo studio teorico della reazione a catena per determinare la massa critica per uranio arricchito a vari livelli.

Tamaki presentò i risultati dei suoi calcoli della massa critica il 3 febbraio 1943; essi mettevano assieme in modo inconsistente i metodi di Francis Perrin (1939) e di Siegfried Flügge (1939) e si basavano su dati sperimentali del gruppo di Frédéric Joliot-Curie. Secondo i suoi calcoli, sarebbero bastati 32,2 kg di uranio arricchito al 5% in 50 litri d'acqua o 11,1 kg di uranio arricchito al 10% in 30 litri d'acqua; per raggiungere tali quantità di uranio arricchito riteneva sufficiente partire da 200 kg di uranio naturale. I calcoli erano completamente errati non solo per la produzione di una bomba, ma anche per un reattore, e non tenevano assolutamente conto dell'efficienza di un impianto di arricchimento realizzabile all'epoca. [nota 10] La sottovalutazione della massa critica rendeva comunque plausibile uno sforzo per la produzione dell'arma nucleare.

Il problema centrale del progetto era appunto l'arricchimento dell'uranio e il gruppo di Riken esaminò i vari metodi possibili per la separazione isotopica: la diffusione gassosa attraverso membrane, la diffusione termica, la centrifugazione e la separazione elettromagnetica. Si sapeva allora che solo il metodo elettromagnetico [nota 11] garantiva con certezza di produrre uranio altamente arricchito e che scienziati americani erano effettivamente riusciti a separare una piccola quantità di uranio-235 dall'uranio-238 usando uno spettrometro di massa. Nishina pertanto chiese (23 dicembre 1942) a Takeuchi di indagare la separazione magnetica utilizzando lo spettrometro di massa di Riken: i risultati furono scoraggianti soprattutto per l'estrema difficoltà di costruire un'adeguata sorgente ionica. Alla riunione del 17 marzo 1943 venne deciso di abbandonare questo metodo e, risultando la costruzione di un'ultracentrifuga al di là delle tecnologie e dei materiali disponibili, venne scelta la diffusione termica: trasmettendo calore attraverso un sottile strato di liquido o gas, le molecole più leggere diffondono verso la parete calda e quelle pesanti verso quella più fredda. I giapponesi avevano informazioni sul "tubo di Clusius", l'apparato sviluppato in Germania nel 1938 per la separazione isotopica dei gas, e, pur non sapendo se potesse venir impiegato anche per l'uranio, scelsero questo metodo utilizzando un gas di esafluoruro di uranio.[nota 12]

Nel marzo 1943 Yasuda, divenuto capo dell'aeronautica dell'esercito, riferì al presidente Tojo dello stato del progetto per la bomba, ricevendo l'invito a intensificare le ricerche e accelerare i lavori. L'urgenza del governo e dell'esercito venne trasmessa a Nishina, che nel giugno 1943 presentò un rapporto a Yasuda, in cui affermava che:

1. l'utilizzazione di energia nucleare per mezzo della fissione dell'uranio è possibile;
2. una quantità minima di 10 kg di uranio arricchito al 10% è necessaria per un'esplosione, di potenza equivalente a 18 mila tonnellate di acido picrico;
3. andava sperimentato per l'esafluoruro di uranio un tubo di Clusius di rame, che si sapeva stabile per il fluoro.

La stima della massa critica era ovviamente basata sui calcoli di Tamaki, e la potenza indicata, che casualmente corrisponde circa a quella della bomba su Hiroshima, era anch'essa completamente errata. L'errore di fondo dell'analisi sta nel considerare possibile una bomba a fissione utilizzando un moderatore –in questo caso l'acqua– per rallentare i neutroni. Il sistema considerato da Nishina era concettualmente analogo a un reattore e lui riteneva che una reazione a catena prodotta da neutroni lenti potesse produrre un'enorme esplosione quando il sistema divenisse supercritico, dopo 1/30 o 1/20 di secondo. L'apparato che aveva in mente era composto da due masse appena critiche che venivano messe assieme in modo da superare significativamente la criticità; per prevenire l'espansione prematura del sistema la bomba doveva essere installata in un contenitore metallico molto resistente.

In realtà un sistema del tipo reattore non può produrre un'esplosione nucleare in quanto, in un tempo molto più breve di 1/30 di secondo, la reazione si spegne per l'espansione del materiale della bomba a causa delle crescenti temperatura e pressione, col risultato della distruzione del contenitore in una piccola esplosione analoga a quella di un esplosivo convenzionale.

Per una bomba è invece indispensabile utilizzare i neutroni veloci come sono emessi, in modo da contrastare l'espansione del materiale; per compensare la bassa frequenza di fissioni prodotte da neutroni veloci bisogna usare o uranio fortemente arricchito nell'isotopo 235 (tipicamente oltre al 90%) o plutonio-239.[nota 13]

Al programma di arricchimento con la tecnica della diffusione termica venne concesso l'edificio 49 di Riken, una struttura di legno a due piani per 330 metri quadri complessivi: il piano terra era dedicato al progetto e alla realizzazione del separatore, mentre al piano superiore Kunihiko Kigoshi, allora venticinquenne, intraprese lo studio della chimica dell'uranio in vista della produzione di esafluoruro di uranio, punto di partenza per la separazione isotopica.

Takeuchi, allora trentenne, era un fisico dei raggi cosmici assolutamente inesperto nel nuovo campo, e trovò molte difficoltà a proseguire nel progetto, anche perché non ottenne all'interno di Riken collaborazione per le misure necessarie; inoltre dovette procurarsi da solo i componenti per gli apparati. I calcoli teorici venivano compiuti da Taketani, imprigionato come sovversivo, in una stanza per interrogatori sotto la sorveglianza della polizia. [nota 14] Nonostante il metodo per essere efficace, ancorché modestamente, richieda impianti multi-stadi a cascata, questo aspetto non fu neppure considerato e gli sforzi furono concentrati sulla costruzione di un solo tubo di Clusius. Nel marzo 1944 Takeuchi, con l'aiuto di 4 tecnici dell'aeronautica, riuscì a completare il suo apparato: un sistema di tubi di rame concentrici alti 5 metri, quello interno riscaldato a 400 °C e quello esterno raffreddato ad acqua. Il funzionamento del tubo di Clusius venne provato nel corso di maggio 1944 con argon, senza successo.

La produzione di esafluoruro di uranio, con la sua famigerata reputazione di divoratore di vetro, metalli e pazienza umana, procedette con difficoltà: iniziato il lavoro nell'ottobre 1942, al luglio 1944, anche con l'aiuto di tecnici dell'esercito, [nota 15] erano stati ottenuti 170 g con cui procedere alla separazione dell'uranio-235. Il 14 luglio 1944 Takeuchi iniziò gli esperimenti con l'esafluoruro di uranio e nel febbraio 1945 la sostanza prodotta venne esaminata con il ciclotrone da 26 pollici, col deludente risultato che non era avvenuto alcun arricchimento isotopico; quali cause furono considerate la corrosione del rame da parte del gas o la contaminazione del gas stesso. Intanto erano iniziati i pesanti bombardamenti americani su Tokyo e la notte del 13 aprile 1945 venne incendiato anche l'edificio 49 di Riken che ospitava l'impianto di Takeuchi e il tubo fu distrutto. I militari ordinarono la costruzione di un nuovo apparato lontano da Tokyo e i lavori iniziarono all'università di Osaka e presso una fabbrica della Sumitomo ad Amagasaki. A Osaka vennero costruiti due tubi, ma non fu possibile utilizzarli per la mancanza di acqua ed elettricità a causa dei bombardamenti; il tubo ad Amagasaki rimase incompiuto fino alla fine della guerra.

## **5. I programmi della marina**

Il Comitato fisica nella sua prima riunione, il 18 luglio 1942, alla presenza dei capi dei servizi tecnici della marina, considerò altamente probabile che gli USA stessero sviluppando un'arma a fissione e molto incerti i tempi e le possibilità di un'arma giapponese. Il comitato si riunirà 8 volte fino al 6 marzo 1943; il capitano Ito rese noti nel 1953 i suoi appunti sulle conclusioni raggiunte nell'ultima riunione: è ovviamente possibile fare una bomba atomica; il Giappone non possiede uranio, le miniere coreane non sono promettenti e servono prospezioni minerarie nei territori occupati, in particolare in Birmania; una bomba giapponese non è fattibile prima di 10 anni, e solo al prezzo di 1/10 dell'energia elettrica e metà del rame disponibile in Giappone; neppure gli USA o la Germania potrebbero realizzarla nei tempi della guerra. A questo punto Ito sciolse il Comitato fisica invitando gli scienziati a dedicarsi a ricerche più urgenti, in particolare allo sviluppo del radar, e a collaborare

al progetto "raggio della morte". Nagaoka si era rivelato il maggior critico del progetto nucleare: nel gennaio 1944 in un incontro del Consiglio della marina per la scienza e la tecnologia dirà che non c'era speranza alcuna che l'energia nucleare potesse venir utilizzata come sorgente energetica e nel dicembre dello stesso anno pubblicherà un articolo intitolato "Una critica all'applicazione della fissione nucleare alle armi".

Per il progetto F-go Arakatsu impegnò il ciclotrone dell'università di Kyoto alla misura di sezioni d'urto per la fissione dell'uranio a seguito di cattura neutronica; questi dati vennero utilizzati da Yukawa e Minoru Kobayashi per la definizione della massa critica. Kobayashi, utilizzando anch'egli i lavori di Perrin e di Flügge del 1939, stimò che una sfera di uranio-235 puro di raggio fra 10 e 20 cm potesse raggiungere la condizione di criticità ed esplodere, ma non produsse calcoli relativi alla potenza di una tale bomba. Arakatsu sviluppò una sua variante della formula dei quattro fattori: essa supera quelle di Perrin e di Flügge, includendo un termine relativo all'assorbimento risonante, ma tutti i suoi dati si riferiscono ai soli neutroni termici e non tengono conto dei neutroni veloci, per cui la sua formulazione rimane insoddisfacente (Weart, 1977) e assolutamente inadeguata per lo sviluppo della bomba.

Per l'arricchimento dell'uranio, nell'impossibilità di ricorrere alla diffusione magnetica e riconosciuta la lentezza della separazione per diffusione gassosa, Arakatsu affidò a Kiichi Kimura e a Sakae Shimizu lo sviluppo del metodo della centrifugazione. Il gruppo di Kyoto calcolò che serviva una centrifuga che operasse a 150 mila giri al minuto; poiché le migliori centrifughe esistenti in Giappone raggiungevano neppure un quarto di tali prestazioni, gli scienziati iniziarono lo studio dei problemi scientifici e tecnologici di una ultracentrifuga adeguata e ne completarono il progetto nel luglio 1945, scegliendo il duralluminio come principale materiale dell'apparato. Ma, poiché le scorte di duralluminio vennero distrutte dai bombardamenti americani, non si poté costruire neppure un prototipo. I problemi di chimica per il maneggio dell'esafluoruro di uranio furono affidati a Shinji Sasa, mentre Takuzo Okada si occupò della produzione di uranio metallico. Il 21 luglio 1945 vi fu il primo –e ultimo– incontro formale degli scienziati del progetto F-go con i committenti della marina: Yukawa presentò una relazione sulle ricerche nucleari mondiali, basate su informazioni ottenute da paesi neutrali, Arakatsu i calcoli teorici sulla massa critica e Okada un campione stabile di uranio metallico, lungo e largo 3 centimetri e spesso un millimetro. Gli ufficiali della marina informarono che non c'era minerale uranifero e la conferenza fu l'ultima azione del progetto, 25 giorni prima della resa del Giappone.

## **6. Le risorse a disposizione dei progetti**

Quanto i programmi giapponesi fossero dei nani rispetto a quello tedesco, che a sua volta era un nano rispetto a quello americano vincente, emerge evidente esaminando le risorse umane, tecniche, finanziarie e materiali impegnate da tutte le istituzioni coinvolte. [nota 16]

Anzitutto, sulla disponibilità di uranio in Giappone e nelle zone occupate il colonnello Suzuki si era platealmente sbagliato: di fatto l'approvvigionamento di uranio rimase problematico per tutta la durata del conflitto. A programma già avanzato, nella primavera del 1943 Nishina disponeva di un solo kilogrammo di ossido d'uranio e per la produzione dell'esafluoruro Kigoshi riuscì a racimolare da varie fonti altri 45 kg di composti differenti d'uranio. Vari dipartimenti tecnici dell'esercito esplorarono possibili miniere in Giappone e Corea, e vennero inviate

spedizioni di ricerca nei territori occupati, dalla Mongolia alla Birmania. In Malacca venne trovato un minerale ricco di metalli rari, l'amang; circa 4500 t vennero inviate alle raffinerie di Riken, finché i sommergibili alleati resero impossibili ulteriori spedizioni. Verso la fine del 1944 l'esercito ottenne attraverso l'ambasciatore a Berlino due tonnellate di pechblenda, un minerale ricco d'uranio, da inviare in Giappone tramite sommergibili.[nota 17] Vi furono due spedizioni, ma nessuna arrivò a destinazione: il primo sommergibile, partito ai primi del 1945, venne affondato in navigazione e il secondo, l'U-234 con 560 kg di ossido d'uranio, partito nel marzo 1945, al momento della resa tedesca si consegnò alle forze americane nell'Atlantico e i due ufficiali giapponesi a bordo commisero suicidio (Scalia, 2000). Anche la marina cercò di procurarsi uranio con vari mezzi per il suo programma F-go: 45 kg di ossido d'uranio di varia purezza vennero recuperati da laboratori di ceramica dell'area di Kyoto. [nota 18] Nel corso del 1944 Arakatsu richiese almeno 1 tonnellata di minerale uranifero, ma solo nella primavera del 1945 la marina riuscì a consegnargli 90 kg di ossido d'uranio, acquistato al mercato nero di Shanghai.

La scarsità di uranio rimandò il problema di considerare la costruzione di una pila atomica per dimostrare la reazione a catena, obiettivo tentato dai tedeschi fino alla fine e raggiunto da Fermi nel dicembre 1942. Quando Nishina prese in considerazione la realizzazione di un reattore nucleare, non esistendo impianti in grado di produrre grafite pura, pensò all'acqua pesante quale moderatore, anche perché, in vista di esperimenti col nuovo ciclotrone, aveva promosso il potenziamento della produzione mensile dell'impianto esistente a Nobeoka da circa 10 a 50 ml. Il potenziamento non era avvenuto e nel 1944 erano disponibili solo minime quantità di acqua pesante per esperimenti e non le tonnellate necessarie anche per un piccolo reattore.

Come abbiamo visto, esisteva nei vari laboratori e università un numero significativo di apparati, acceleratori e rivelatori, in grado di sostenere le ricerche di fisica nucleare di base necessarie per le applicazioni militari: tuttavia tale strumentazione non fu mai dedicata in toto a queste ricerche, ma utilizzata per tutta la durata della guerra soprattutto per indagini di fisica fondamentale e la prosecuzione dei progetti di ricerca di interesse accademico. Pertanto la sua potenzialità per chiarire punti cruciali sulla via della bomba non venne mai attuata in pieno.

Entrambi i progetti giapponesi furono estremamente deboli in risorse umane: anche se c'erano molti esperti altamente qualificati, non era disponibile un adeguato numero di scienziati, ingegneri e personale tecnico, dati i molteplici impegni richiesti dalle esigenze della guerra. Agli stessi scienziati impegnati formalmente nel Ni-go e F-go vennero richieste consulenze per altri progetti dell'esercito e della marina. Tenuto anche conto della partecipazione di personale di industrie private, il progetto di Kyoto non ebbe mai più di 20 scienziati impegnati contemporaneamente; Nishina poteva contare su almeno 30 ricercatori principali ed un centinaio disponibile per consulenze e assistenza.

Coerentemente con queste risorse, anche i finanziamenti per la ricerca e lo sviluppo sono un indicatore della bassa priorità della ricerca nucleare militare giapponese durante la guerra. I dati sono piuttosto incerti, in particolare relativamente alle spese per l'acquisizione dell'uranio, comunque risulta attendibile che l'esercito investì circa 3 milioni di yen e la marina 600 mila yen, equivalenti in tutto a circa 900 mila dollari dell'epoca.

Per avere un confronto col progetto che ebbe successo, ricordiamo che negli USA furono impegnate a tempo pieno quasi 150 mila persone e vennero costruiti 5 laboratori dedicati, con un bilancio complessivo di circa 2 miliardi di dollari e il supporto di un'imponente infrastruttura industriale: per il solo laboratorio di Oak Ridge si acquisirono 60 mila tonnellate di ossido d'uranio e tutto l'argento di Fort Knox fu messo a disposizione per la costruzione dei magneti dell'impianto di arricchimento.

## **7. L'atteggiamento dei partecipanti**

Il fallimento dei programmi giapponesi per la bomba fu totale: non venne prodotta nemmeno una minima quantità di uranio arricchito e la via del plutonio non fu neppure affrontata. Non vi fu la dimostrazione della fissione a catena, non venne lanciato neanche un prototipo di reattore, di cui non si seppe elaborare una formula teorica corretta. Inoltre né Nishina né Arakatsu capirono il punto cruciale della teoria della bomba, ovvero che un ordigno deve basarsi sulla fissione con neutroni veloci.

Chiaramente la limitatezza delle risorse disponibili non avrebbe permesso in alcun modo la produzione di un'arma nucleare e neppure di un reattore, ma anche con tutti i materiali e i finanziamenti necessari il programma giapponese sarebbe fallito a causa dell'atteggiamento del governo, dei militari e degli scienziati.

Il governo e i militari giapponesi non fecero alcun serio sforzo per lo sviluppo delle armi nucleari e diedero una piccolissima priorità ai progetti finché la guerra del Pacifico non cominciò a precipitare, e neanche allora furono capaci di mobilitare e coordinare efficacemente le limitate risorse disponibili: le azioni giapponesi furono gravemente frammentarie, inadeguatamente dotate di personale, condotte con indifferenza, e viziate dal dubbio e dall'ambivalenza a livello personale. Sia nel mondo politico e militare che in quello scientifico, come osserva Dower (1978), vi furono numerose forze che operarono contro la creazione di una massa critica di competenze ed efficienza, in una società dominata da contraddizioni, tensioni interne, frazionismo e particolarismi.

Fin dal 1940 il governo giapponese tentò in varie forme di mobilitare gli scienziati e in generale il modo accademico per il sostegno scientifico dello sforzo bellico, creando strutture piramidali gerarchiche. In particolare l'8 dicembre 1940 venne istituito il Consiglio per la mobilitazione della scienza (Kagaku Doin Kyokai) con l'obiettivo di mettere assieme scienziati di campi e affiliazioni differenti, rompendo la prassi accademica, per evitare sovrapposizioni nelle ricerche. Le resistenze della comunità scientifica furono forti e anche successive strutture non riuscirono nell'intento di centralizzare la ricerca e indirizzarla agli interessi bellici. I primi travolgenti successi nella guerra del Pacifico indebolirono gli sforzi per il controllo della ricerca, nella convinzione dei militari che il "potere dello spirito" fosse sufficiente per garantire la vittoria del Giappone anche contro "la forza della meccanica" (Ito, 2002). Vennero sviluppati alcuni centri di ricerca applicata e non si volle interferire nella ricerca di base condotta nelle università.

Solo nell'agosto 1943, di fronte al peggioramento dell'andamento della guerra, venne lanciato un Piano di emergenza per la ricerca scientifica (Kagaku Kenkyu Kinkyu Seibi-hosaku Yoko), che prevedeva un controllo diretto per indirizzare la ricerca in ogni singola università coerentemente con gli interessi militari, dava priorità alla ricerca aeronautica e alla produzione di nuove armi (Low, 1989). Le divisioni fra il mondo accademico e quello militare non vennero superate, sia per l'attitudine

dittatoriale e di autosufficienza dei leader militari, sia per il senso di superiorità degli scienziati civili, che ritenevano di perdere in reputazione a trattare coi militari. Tali divisioni, per altro, erano ancora più deboli della feroce rivalità fra la marina e l'esercito imperiali, per superare la quale tentando l'unificazione degli sforzi civili e militari venne creato il 5 settembre 1944 il Consiglio permanente per la tecnologia dell'esercito e della marina (Kiku-kai-gun Gijutsu Unyo-iinkai) sotto la direzione di Hidetsugu Yagi, l'inventore dell'antenna che porta ancora il suo nome. Gli sforzi per un'effettiva, efficace e coordinata mobilitazione della ricerca per le esigenze della guerra rimasero largamente insoddisfacenti. Né l'esercito né il Consiglio furono neppure informati del progetto F-go della marina. Lo stesso Yagi dichiarerà alla commissione d'indagine Compton nell'autunno 1945: "un generale e un ammiraglio preferirebbero piuttosto perdere la guerra che darsi la mano" (Home e Low, 1993).

Di fronte al limitato e discontinuo interesse dei committenti militari, gli scienziati giapponesi a loro volta non misero particolare entusiasmo nel lavoro per questi progetti, non perché fossero preoccupati dell'enorme potere distruttivo della bomba e per i terribili effetti delle radiazioni, ma perché sapevano di non avere nessuna speranza di riuscita a causa della mancanza di risorse, in particolare di uranio. Data l'impossibilità del successo e lo scarso valore scientifico del limitato campo di studio affrontabile, né Nishina né Arakatsu lavorarono a pieno tempo sui programmi nucleari loro affidati, coltivando prioritariamente altri progetti scientifici e lasciando ai propri collaboratori la possibilità di continuare le proprie ricerche di base.

Per molti fisici il periodo della guerra finì per rivelarsi particolarmente felice per lo sviluppo dei loro studi, che poterono continuare con più fondi e meno restrizioni e con la sicurezza di non venir mandati al fronte, una volta riconosciuto loro lo stato di "ricercatori di guerra". Yukawa era impegnato in lavori militari un solo giorno la settimana e continuava le sue ricerche sui mesoni, e il più brillante di giovani teorici formati a Riken, Shin-itiro Tomonaga, pur coinvolto nelle attività sul radar, trovò modo di completare nel 1943 la sua formulazione dell'elettrodinamica quantistica che gli varrà il premio Nobel nel 1965 (Brown e Nambu, 1998).

Nishina è chiaramente la figura più complessa fra gli scienziati impegnati nei vari programmi e il suo comportamento può apparire ambivalente: da una parte accettò la direzione del programma dell'esercito e del Comitato fisica della marina mantenendo stretti contatti con i militari, dall'altra non dette priorità al progetto Ni-go, affidandolo di fatto a pochi ricercatori, e non i più esperti. Il progetto Ni-go risulta chiaramente redditizio per Riken: ottiene un riconoscimento politico importante, permette di completare il grande ciclotrone con risorse altrimenti molto difficilmente reperibili, fa acquisire nuove competenze e può salvare giovani ricercatori dal fronte. Per Nishina perseguire questi obiettivi non significa ingannare il suo paese per un tornaconto personale, ma ha invece una valenza patriottica, in quanto egli ritiene che la scienza avanzata sia un interesse primario per il Giappone e i giovani ricercatori un bene strategico per il loro grande potenziale umano. Ciò risulta dai numerosi articoli scritti su quotidiani e riviste durante tutta la guerra, dai quali, ancorché depurati dal linguaggio e lo stile a volte sciovinista imposto dalla stretta censura governativa, trapela il suo forte nazionalismo. Il suo obiettivo primario è di valorizzare la ricerca fondamentale sia in risposta alla diffusa antipatia popolare, soprattutto femminile, verso la scienza, sia a fronte dell'indirizzo forzato verso la ricerca applicata da parte delle varie disposizioni introdotte per la mobilitazione militare. Anche nel 1943, pur

riconoscendo la necessità di uno sforzo deciso per sostenere la guerra, egli continua a difendere lo spazio della ricerca fondamentale; solo nel gennaio 1945 inviterà alla mobilitazione generale di tutte le risorse scientifiche per aumentare le capacità belliche, rimandando la ripresa della ricerca fondamentale a momenti meno drammatici: tuttavia insiste sulla necessità per il paese di impegnare gli scienziati per la ricerca e non per il fronte (Ito, 2002)

Nishina era convinto fin dal 1941 che il Giappone non avrebbe potuto vincere contro gli Stati Uniti, ciononostante di fronte all'evoluzione della guerra verso la sconfitta, nella certezza dell'impossibilità di un'arma risolutrice, continua e rafforza le ricerche sia per un senso di lealtà, sia per far acquisire a Riken competenze utili nel futuro, sia per salvare giovani ricercatori dal fronte.

### **8. La distruzione dei ciclotroni giapponesi**

Subito dopo il bombardamento di Hiroshima il governo ed i militari giapponesi organizzarono cinque gruppi di indagine, anche le università di Kyoto e di Osaka crearono proprie ispezioni: Nishina faceva parte del gruppo dell'esercito e Arakatsu guidava quello di Kyoto. Tutti i gruppi si incontrarono a Hiroshima il 10 agosto e conclusero che si trattava effettivamente di un'esplosione nucleare. All'amarrezza per la terribile distruzione si univa per gli scienziati l'umiliazione poiché i loro colleghi americani avevano compiuto ciò che essi giudicavano assolutamente irraggiungibile da chiunque nel corso della guerra. Nishina, prima di partire per Hiroshima, lasciò scritto a Tamaki: " Se è vero, è giunta l'ora per i partecipanti al progetto Ni-go di commettere hara-kiri... La personalità degli scienziati americani e britannici ha sorpassato quella degli scienziati dell'Edificio 49" (Ito, 2002). Il giorno 11 Nishina riferirà sulla bomba a consiglieri del governo e rappresentanti della marina e dell'esercito, mentre suoi collaboratori a Riken misuravano i campioni raccolti a Hiroshima. Il 14 Nishina si recherà a Nagasaki per investigare sul bombardamento atomico di quella città.

Dopo la resa, gli scienziati giapponesi continuarono le investigazioni sui danni provocati dalle bombe, prima autonomamente e poi con gli esperti americani della Armed Forces Joint Commission for Investigating the Effects of Atomic Bomb in Japan e della successiva Atomic Bomb Causality Commission. Il lavoro in comune ristabilì le condizioni di collaborazione scientifica e rinnovò anche i rapporti personali di fisici giapponesi e americani (Kimura, 1987).

Il 16 ottobre 1945 Nishina chiese il permesso al Supreme Commander of the Allied Forces (SCAP) di usare i due ciclotroni di Riken, che si erano salvati dal bombardamento del laboratorio, per ricerche di base; il permesso gli fu accordato il giorno successivo (Nishina, 1947), ma il 30 ottobre il Joint Chiefs of Staff da Washington diede ordine al quartier generale dello SCAP di proibire ogni ricerca nucleare. Alla domanda su come trattare i ciclotroni di Riken, dal ministro della difesa giunse il 10 novembre l'ordine di eliminare tutti i ciclotroni giapponesi, ordine che venne eseguito il 24 novembre, nonostante i tentativi di Nishina di fermare la distruzione di quello che era stato il simbolo della sua stessa vita scientifica: i ciclotroni di Riken, di Kyoto e Osaka vennero fatti a pezzi e inabissati in mare.

Appena giunta notizia in America, un gran numero di scienziati americani, a partire da quelli impegnati nel progetto Manhattan, elevò forti proteste, paragonando la distruzione dei ciclotroni, strumenti di ricerca scientifica e non di guerra, all'incendio della biblioteca di Lovanio da parte dei nazisti. Particolarmente contrariati erano i fisici americani che avevano aiutato i giapponesi nella costruzione degli apparati, [nota 19] ma la protesta si inseriva nel duro confronto in corso negli USA fra scienziati e militari sul controllo dell'energia atomica e sulla libertà di ricerca. I militari si palleggiarono la responsabilità e il 14 dicembre il ministro della

guerra Robert P. Patterson ammise che l'ordine era stato un errore e che le istruzioni erano partite senza la sua approvazione. [nota 20]

La questione venne discussa nelle udienze del Congresso dedicate alla legislazione sull'energia nucleare e fu utilizzata dagli scienziati (Smith, 1965) a dimostrare l'incompetenza dei militari a controllare le attività nucleari (Karl T. Compton, presidente dell'M.I.T. e autorevole consulente scientifico del governo, membro in particolare dell'Office of Scientific Research and Development che diresse il progetto Manhattan, in un'intervista al New York Times il 6 dicembre parlò di "un atto di assoluta stupidità"), contribuendo all'approvazione della legge McMahon e all'assegnazione della politica nucleare americana all'Atomic Energy Commission, sotto controllo civile (1 agosto 1946).

Nishina chiese agli USA di permettere la costruzione di nuovi ciclotroni e l'importazione di materiali radioattivi per ricerche biologiche e mediche: quest'ultima venne concessa il 10 novembre 1949 e la realizzazione di ciclotroni iniziò alla fine dell'occupazione americana.

La distruzione dei ciclotroni contribuì così a risaldare i rapporti fra gli scienziati delle due sponde del Pacifico e a riammettere senza difficoltà i fisici giapponesi nella comunità internazionale, che li considerò con simpatia, a differenza delle critiche riservate agli scienziati che presero parte al progetto militare tedesco. Yukawa e Tomonaga furono invitati da Robert Oppenheimer a Princeton nel 1948, Sagane ritornò a Berkeley a lavorare ai nuovi acceleratori e Nishina partecipò nel 1949 a Copenhagen all'incontro dell'International Council of Scientific Unions, primo delegato ufficiale giapponese a una conferenza internazionale del dopoguerra.

## **9. Nota storiografica e due miti duri a morire**

Il programma giapponese rimase un segreto per tutta la durata della guerra; gli scienziati e i militari americani impegnati nel progetto Manhattan non presero neppure in considerazione l'opportunità di raccogliere informazioni su eventuali attività nucleari giapponesi, dato che il Giappone non possedeva né uranio né minerali uraniferi, e le sue capacità industriali erano troppo limitate per affrontare la produzione dei materiali necessari ad una bomba (DeWolf Smyth, 1945; Groves, 1962; York, 1985). Tanto che tre scienziati americani, Luis W. Alvarez, Philip Morrison e Robert Serber, dall'aereo che bombardò Nagasaki, allegarono a strumenti fatti cadere sulla città per misurare l'effetto della bomba un messaggio per Sagane, con cui avevano collaborato prima del conflitto, per spiegargli che si trattava di un bombardamento nucleare, come se gli scienziati giapponesi non avessero abbastanza elementi per riconoscerlo da soli, e per invitarlo a convincere il governo ad accettare le condizioni di resa (Brown e Nambu, 1998). [nota 21]

Il governo americano verrà progressivamente a conoscenza delle attività nucleari giapponesi grazie alle indagini da parte delle forze di occupazione sulle varie ricerche militari del Giappone. Queste trovarono gli scienziati giapponesi sospettosi e preoccupati, se non veramente spaventati, e comprensibilmente riluttanti a discutere delle loro ricerche militari, per cui i dettagli dei programmi vennero rivelati un po' alla volta nel corso di inchieste che si succedettero dal settembre 1945 a luglio 1946.

La prima indagine venne compiuta nel periodo settembre-ottobre 1945 sotto la direzione di Compton. Compton nel suo rapporto riferì su molte attività scientifiche militari giapponesi e anche sulle ricerche nucleari sottovalutandone gli obiettivi militari (Home e Low, 1993) e concludendo che "i giapponesi non hanno fatto alcun reale progresso per lo sviluppo di una bomba atomica o l'utilizzazione dell'energia atomica".

Una missione specificatamente dedicata ai programmi nucleari venne promossa da Groves: un gruppo di ufficiali dello spionaggio militare e di scienziati che avevano fatto parte del progetto Manhattan iniziò i suoi lavori nel settembre 1945 sotto la direzione del maggiore Robert R. Furman. Vennero contattati scienziati e dirigenti delle principali università e istituzioni scientifiche, militari e governative di tutto il Giappone e di centri importanti della Corea.

L'inchiesta di Furman non riuscì a scoprire i progetti Ni-go e F-go e concluse con sicurezza che non vi era stato un programma ufficiale giapponese per la bomba. Con l'obiettivo di demilitarizzare definitivamente il Giappone, lo SCAP il 22 settembre 1945 emise una proibizione estremamente rigorosa riguardo a ogni forma di potenziale bellico giapponese, incluse ricerche per l'arricchimento dell'uranio, e ordinò a tutte le istituzioni scientifiche e tecnologiche di produrre relazioni su tutte le loro attività dal 1940 in poi, mantenendo disponibili per ispezioni tutta la strumentazione, gli archivi e la documentazione. Nel gennaio 1946 venne creata nell'ambito dello SCAP una Economic and Scientific Section (ESS), affidata a Harry C. Kelly, uno scienziato dell'M.I.T. A seguito della condanna da parte della comunità scientifica mondiale della distruzione dei ciclotroni, Kelly ebbe il compito di collegamento con il mondo scientifico giapponese per ridurre le tensioni ed evitare altri possibili errori del genere. Come consulente tecnico dell'ESS per le questioni nucleari giunse a Tokyo il maggiore Russel A. Fisher, che aveva precedentemente partecipato alle indagini sui programmi nucleari tedeschi. Fisher giocò un ruolo centrale nell'inchiesta sui progetti giapponesi ed entro il mese di maggio 1946 riuscì a ricostruire con buona precisione i vari progetti nucleari giapponesi e i loro risultati effettivi (Grunden, 1998). La documentazione delle varie inchieste condotte nell'ambito dello SCAP è stata resa disponibile agli storici nel corso degli anni '80.

Intanto gli storici giapponesi raccoglievano testimonianze e documenti dai partecipanti civili e militari ai progetti nucleari e iniziarono le pubblicazioni sull'argomento non appena venne tolta la censura sulle questioni nucleari da parte dello SCAP; [nota 22] presentazioni estese delle attività vennero pubblicate in giapponese nel 1968 in un volume de "L'imperatore nel periodo Showa" e nel 1970 in un volume della serie "Profilo storico della scienza e tecnologia giapponese", e in inglese nell'opera collettiva "The day man lost: Hiroshima, 6 August 1945" del 1972 (PWRS, 1972). Nel frattempo iniziavano a uscire articoli anche di ricercatori non giapponesi, seguendo anche l'invito di Eri Yagi Shizume e Derek J. de Solla Price (Yagi Shizume e de Solla Price, 1962). Nel 1983 si è reso disponibile agli storici il rapporto ufficiale di Nishina all'istituto di ricerca dell'esercito (Yamazaki e Fukai, 1999) e nel 1997 i verbali ufficiali del Comitato fisica della marina, completando così la documentazione fondamentale necessaria per una comprensione esaustiva del programma giapponese (Grunden, 2005). [nota 23]

Ignorando completamente le informazioni disponibili, era intanto nato negli USA un primo "mito" sulle armi giapponesi. Nell'ottobre 1946 era comparso sull'Atlanta Constitution un breve articolo che sosteneva che il Giappone non solo aveva avuto un programma nucleare ma che effettivamente aveva sviluppato e sperimentato un'arma atomica poco prima della fine della guerra sulla costa nord-coreana, presso la città di Hungnam (Snell, 1946); l'articolo non attirò particolare attenzione sul momento, ma vennero promosse ulteriori [nota 24] inchieste sulla Corea da parte dello SCAP, che non trovò alcun elemento a sostegno dell'asserzione (Grunden 1998). Il mito della "bomba giapponese" verrà ripreso negli anni '80 dal giornalista-scrittore Robert K. Wilcox (1985); anche se Wilcox non riesce a dimostrarne la consistenza, e autorevoli interventi smontano le sue asserzioni (Dower, 1986;

Low,1990), il suo lavoro, ristampato nel 1995, perpetua il mito nel mondo giornalistico e politico fino ai giorni nostri (Hadfield, 1995).

Un secondo mito venne lanciato nel 1978 dalla giornalista Deborah Shapley (1978), accusando i giapponesi di aver steso una cortina di silenzio sul loro programma nucleare militare, facendone un "segreto sociale"; il suo articolo, basato su evidente ignoranza della storiografia, anche in lingua inglese, già allora disponibile (Hughes, 1980), diede origine a un ciclo di accuse (Dower,1986; Weiner 1978) e risposte (Forrester e Forrester, 1978; Hayakawa,1978; Parkins, 1978; Schmidt, 1978).

Grunden (1998) esamina i motivi per cui questi miti sono duri a morire. All'origine, nell'immediato dopoguerra, vi furono gli accesi dibattiti sulla decisione dell'impiego delle armi nucleari contro il Giappone e la contrapposizione fra scienziati, militari e governo sul controllo dell'energia nucleare (Winnaker 1947; Hewlett eAnderson, 1962), ma la questione si dissolse con lo spostamento dell'attenzione al confronto con l'Unione Sovietica. Negli anni '70 il Giappone iniziava a sfidare l'egemonia americana in vari campi economici e tecnologici e stava trasformando la sua immagine, da aggressore della seconda guerra mondiale a unica vittima nucleare. Le pubblicazioni della Shapley e di Wilcox alimentarono i diffusi sentimenti anti-giapponesi negli USA e contribuivano a demolire l'immagine di un Giappone vittima della guerra: il coinvolgimento dei giapponesi nella corsa alle armi nucleari durante la guerra permetteva di indebolire i sensi di colpa americani per la devastazione di Hiroshima e Nagasaki giustificandola a posteriori. Il mito del "segreto sociale" venne usato per manipolare la storia e rafforzare i pregiudizi nazionali, culturali e razziali (Dower, 1993).

Grunden individua altri due motivi, apparentemente banali, dietro la longevità dei miti: la barriera linguistica di gran parte dei documenti fondamentali e della storiografia giapponese e l'analfabetismo scientifico di molti dei sostenitori dei miti, che sono così incapaci di valutare correttamente i fatti e le implicazioni.

Naturalmente, infine, rimane sempre impossibile dimostrare definitivamente che qualcosa non sia esistita, per cui, analogamente al caso tedesco, il mito di una esplosione atomica giapponese durante la seconda guerra mondiale potrà appassionare a lungo i cultori dei "misteri".

## BIBLIOGRAFIA

- BRAW M., *The atomic bomb suppressed: American censorship in occupied Japan*. ME Sharpe, Armonk, NY,1991.
- BROWN L.M. and NAMBU Y., *Physicists in wartime Japan*. Scientific American December 1998, 66-73 (1998).
- DEWOLF SMYTH H., *Atomic Energy for Military Purposes*. Princeton University Press, Princeton, 1945.
- DONG-WON K., *Yoshio Nishina and two cyclotrons*. Historical Studies in the Physical and Biological Science 36, 243-273 (2006).
- DOWER J. W., *Science, Society, and the Japanese Atomic Bomb during World War Two*. Bulletin of Concerned Asian Scholars 10, 41-54 (1978).
- DOWER J.W., *Review of Robert Wilcox's Japan's secret war*. Bulletin of the Atomic Scientists 43, 61-62 (1986).
- DOWER J.W., *"NI" and "F": Japan's wartime atomic bomb research*. In Dower J.W., ed., *Japan in war and peace: selected essays*. New Press, New York, 1993.
- FLÜGGE S., *Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?*. Naturwissenschaften 27, 402-410 (1939).

FORRESTER T.A. and FORRESTER W.C., Nuclear Weapons: Wartime Bomb Projects. *Science* 199, 1286 (1978).

GROVES L.M., Now it can be told. Harper, New York, 1962.

GRUNDEN W.E., Hungnam and the Japanese atomic bomb: Recent historiography of a postwar Myth. *Intelligence and National Security* 13, 32–60 (1998).

GRUNDEN W.E., Secret Weapons and World War II Japan in the Shadow of Big Science. University Press of Kansas, Lawrence 2005.

GRUNDEN W.E., WALKER M., and YAMAZAKI M., Wartime Nuclear Weapons Research in Germany and Japan. *Osiris*, 2nd Series 20, 107-130 (2005).

HADFIELD P., Japan came close to wartime A-bomb. *New Scientist* 147, 4 (1995).

HAYAKAWA Nuclear Weapons: Wartime Bomb Projects. *Science* 199, 1286 (1978).

HEWLETT R. G. and ANDERSON O. E., The New World, 1939-1946, The Pennsylvania State University Press, University Park, 1962.

HOME R.W. and LOW M.F., Postwar scientific intelligence missions to Japan. *Isis* 84, 527-537 (1993).

HUGHES P. S. , Wartime Fission Research in Japan. *Social Studies of Science* 10, 345-349 (1980).

ITO K., Values of “pure science”: Nishina Yoshio’s wartime discourse between nationalism and physics, 1940-1945. *Historical Studies in the Physical and Biological Science* 33, 61- 86 (2002).

KIMURA M., Reflections of a Japanese physicist. *Bulletin of the Atomic Scientists* 43, 7-10 (1987)

LOW M.F., Japan’s secret war? Instant scientific manpower and Japan’s World War II atomic bomb project. *Annals of Science* 47, 347-360 (1990).

NAGASE-REIMER K., GRUNDEN W.E., and YAMAZAKI M., Nuclear weapons research in Japan during the Second World War. *Historia Scientiarum* 14, 201-240 (2005).

NISHINA Y., A japanese scientist describes the destruction of his cyclotron. *Bulletin of the Atomic Scientists* 3, 145-146 (1947).

PARKINS W.E., World War II Nuclear Bomb Projects. *Science* 200, 255-256 (1978).

PERRIN F., Calcul relatif aux conditions eventuelles de transmutation en chaine de l’uranium. *Comptes rendus* 208, 1573-1575 (1939).

PWRS (Pacific War Research Society), The day man lost: Hiroshima, 6 August 1945. Kodansha International, Tokyo, 1972.

RHODES R., The Making of the Atomic Bomb. Simon and Schuster, New York, 1986.

SCALIA J.M., Germany’s last mission to Japan: the failed voyage of U-234. Naval Institute Press, Annapolis, 2000.

SHAPLEY D., Nuclear Weapons History: Japan's Wartime Bomb Projects Revealed. *Science* 199, 152-157 (1978).

SCHMIDT F. H., Nuclear Weapons: Wartime Bomb Projects. *Science* 199, 1286-1290 (1978).

SNELL D., Japan Developed Atom Bomb; Russia Grabbed Scientists. *Atlanta Constitution*, October 3, 1946.

SMITH A.K., A peril and a hope: the scientists’ movement in America: 1945-47. Chicago University Press, Chicago, 1965.

STETTbacher A., Der Amerikanische Super-Sprengstoff U-235. Nitrocellulose November 1940, 203-204 (1940).

WEART S., Scientists with a secret. *Physics Today* 29, 23-30 (1976).

WEART S., Secrecy, simultaneous discovery, and the theory of nuclear reactors. *American Journal of Physics* 45, 1049-1060 (1977).

WEINER C., Cyclotrons and internationalism: Japan, Denmark and the United States 1935-1945. *Proceedings of the XIVth International congress of the history of science*,

1974, Tokyo, 1975, 353-365.

WEINER C., Retroactive saber rattling. Bulletin of the Atomic Scientists 34, 10-12 (1978).

WILCOX R.K., Japan's secret war. Marlowe, New York, 1985.

WINNAKER R.A., The debate about Hiroshima. Military Affairs 11, 25-30 (1947).

YAGI SHIZUME E. and de SOLLA PRICE D., Japanese Bomb. Bulletin of the Atomic Scientists 18, 29 (1962).

YAMAZAKI M., and FUKAI Y., eds. Nishina Yoshio's research report to the Japanese army during the second world war. TITech Studies in science, Technology and Culture 2, 46-54 (1999).

YORK H., comunicazione privata. Lettera all'autore (1985).

[note]

[nota 1] L'energia emessa in una fissione è di circa 200 MeV, ovvero 20 milioni quella della più energetica reazione chimica.

[nota 2] Va ricordato che la pubblicazione dei risultati delle ricerche nei vari paesi venne via via sospesa a partire dal settembre 1939 (Weart, 1976).

[nota 3] La formula dei quattro fattori esprime il rapporto fra il numero di neutroni presenti nel materiale fissile ad una data generazione e quello alla generazione precedente come prodotto di quattro parametri fondamentali: il numero di neutroni veloci emessi per ogni neutrone termico assorbito dall'uranio, la frazione di neutroni termici assorbiti, la probabilità di sfuggire alla cattura risonante e il fattore di fissione veloce. Una prima formulazione corretta, anche se priva dell'ultimo termine, venne ottenuta a Parigi dal gruppo di Frédéric Joliot-Curie nell'ottobre 1939 e mantenuta segreta durante la guerra; anche Enrico Fermi giunse alla stessa formulazione nel corso del 1940, mentre espressioni incomplete o incorrette furono sviluppate da vari ricercatori tedeschi, russi e giapponesi (Weart, 1977).

[nota 4] Lo stadio più avanzato dell'Uran-Maschine sviluppata dai ricercatori tedeschi nel 1945 impiegava 1,5 t di acqua pesante e 1,5 t di uranio metallico, e non fu in grado di produrre una reazione a catena autosostenuta.

[nota 5] Nella presente nota seguiremo l'uso occidentale anche per i nomi giapponesi.

[nota 6] Per questo lavoro Yukawa riceverà il premio Nobel nel 1949.

[nota 7] In realtà si trattava di un elettrone pesante, il muone, come dimostreranno nel 1945 Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni.

[nota 8] Costituita nel 1932, la Gakujutsu-shinkokai fu un fondamentale veicolo per la razionalizzazione e il finanziamento della ricerca in Giappone.

[nota 9] Varie fonti indicano che anche i fratelli dell'imperatore, i principi Mikasa e Takamatsu, seppero del progetto e l'incoraggiarono (Dower, 1978).

[nota 10] Pur utilizzando le più avanzate ultracentrifughe attuali, da 240 kg di uranio naturale si possono produrre 32 kg di uranio arricchito solo al 4%.

[nota 11] La separazione elettromagnetica si basa sul principio fisico che i corpi elettricamente carichi in moto vengono deflessi da un campo magnetico. L'uranio metallico vaporizzato e ionizzato viene accelerato e immesso in un potente elettromagnete, che deflette gli ioni più pesanti in misura minore di quelli leggeri; posizionando in modo opportuno i collettori degli ioni si possono separare le due componenti isotopiche.

[nota 12] In realtà era già stata pubblicata la modifica dell'apparato per trattare anche liquidi, ma questa possibilità non venne considerata a Riken. Invece negli USA venne sviluppato da Philip .H. Abelson uno specifico apparato per la separazione isotopica dell'uranio in forma liquida, che servì per un arricchimento iniziale prima di proseguire con altri metodi più efficienti.

[nota 13] Per produrre un'esplosione nucleare occorre che la reazione si mantenga supercritica fino alla fissione simultanea di una massa significativa di materiale fissile, il che richiede almeno una cinquantina di iterazioni. Ciò è necessario avvenga in circa 0,5  $\mu$ s, perchè man mano che la reazione procede, aumentando esponenzialmente il numero di fissioni nel tempo, l'energia liberata in quantità crescente riscalda il materiale a temperature sempre più alte, fino a farlo passare dalla fase solida a quella liquida a quella gassosa, il che fa diminuire la densità del materiale al di sotto di quella critica e porta, in tempi dell'ordine del microsecondo, a interrompere la reazione. Questi tempi non sono compatibili con il rallentamento dei neutroni: si devono invece usare direttamente i neutroni veloci.

[nota 14] Taketani giustificò la sua partecipazione al programma nonostante la sua totale opposizione al regime sia per rispetto a Nishina, che già precedentemente era riuscito a trarlo di prigione, sia perché gli era chiaro che comunque il progetto di una bomba giapponese era irrealistico e destinato al fallimento (Brown e Nambu, 1998).

[nota 15] In realtà il personale fornito dall'esercito al progetto erano costituito da 10 giovani scienziati che dopo il diploma erano entrati a Riken e poi erano stati arruolati; Nishina riuscì così ad evitare loro di andare al fronte (Dower, 1978).

[nota 16] Le informazioni in questo paragrafo sono desunte soprattutto dal lavoro di Nagase-Reimer et al. (2005).

[nota 17] Vale la pena osservare che, a parte questa tardiva fornitura, non vi fu alcun collegamento fra i progetti giapponesi e i programmi tedeschi sulla fissione.

[nota 18] Anche in Giappone, come in Germania, l'uranio veniva allora utilizzato praticamente solo per la decorazione delle ceramiche.

[nota 19] Vi fu anche la proposta di una raccolta di fondi per rimpiazzare i ciclotroni distrutti (Weiner, 1975).

[nota 20] Il generale Leslie Groves, responsabile militare del progetto Manhattan, ammetterà nelle sue memorie di aver impartito le istruzioni il 10 novembre (Groves, 1962).

[nota 21] Una delle copie venne recuperata dalla polizia militare ma Sagane la vedrà solo nel 1949; il testo del messaggio è riportato da Weiner (1975).

[nota 22] Va ricordato che il pubblico giapponese verrà tenuto all'oscuro anche del bombardamento nucleare di Hiroshima e Nagasaki: dapprima il governo giapponese attribuì la distruzione delle città all'azione di una grossa squadriglia di bombardieri, in seguito lo SCAP proibì la diffusione dell'informazione (Braw 1991).

[nota 23] Di questi documenti non esiste ancora una traduzione accurata dal giapponese.

[nota 24] Un'indagine accurata sulle strutture industriali e tecnologiche in Corea era stata compiuta da investigatori dell'ESS nell'estate 1946.