

A grayscale photograph of a nuclear mushroom cloud, with the main cloud centered in the upper half and a smaller cloud on the right. The background is a dark, overcast sky.

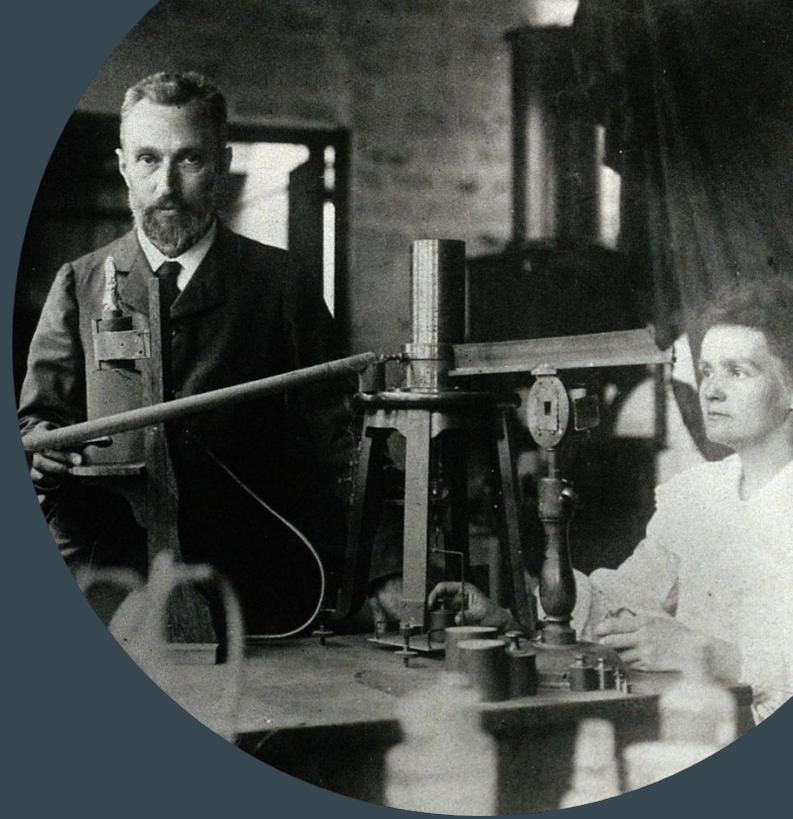
La fisica in guerra

...

Storie di fisica del XX secolo

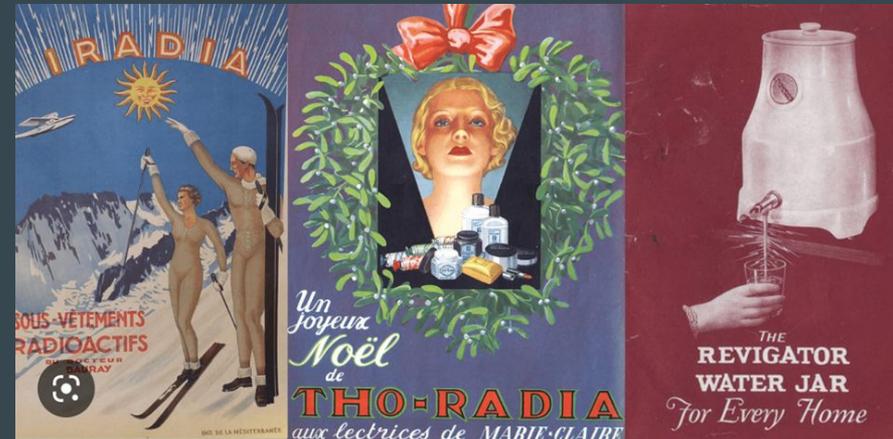
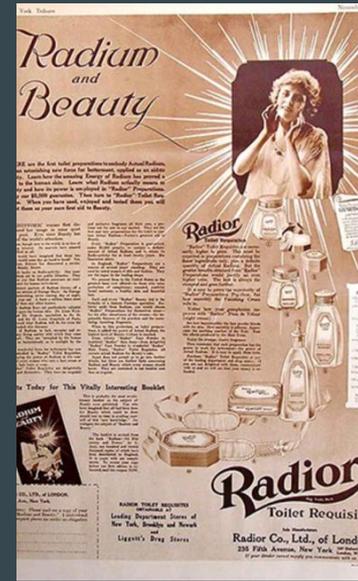
1985, La radioattività naturale

- 1895, Becquerel osserva casualmente che sali di uranio riescono ad impressionare lastre fotografiche. Le prime ipotesi sono varie...
- Pierre e Marie Curie ipotizzano che la radioattività sia dovuta a emissione di radiazione, raggi alpha e raggi beta, a seguito di trasmutazione degli elementi (nobel a Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie nel 1903)
- 1898, i Curie isolano due nuovi elementi radioattivi, il Polonio e il Radio (nobel in chimica a Marie Curie nel 1913)
- 1899 Becquerel identifica le radiazioni beta con gli elettroni



La moda della radioattività

- Nel febbraio 1921, per esempio, il dottor Charles G. Davis di Chicago scriveva sull'American Journal of Clinical Medicine: “La radioattività è l'essenza stessa della vita [...] previene la pazzia, stimola le emozioni nobili, ritarda la vecchiaia e crea una splendida, lieta vita giovanile”
- la Prima Guerra Mondiale è finita e l'Occidente si affaccia al boom industriale ed economico dei “ruggenti Anni Venti”, un'epoca di grandi aspettative nei confronti del progresso scientifico e tecnologico.



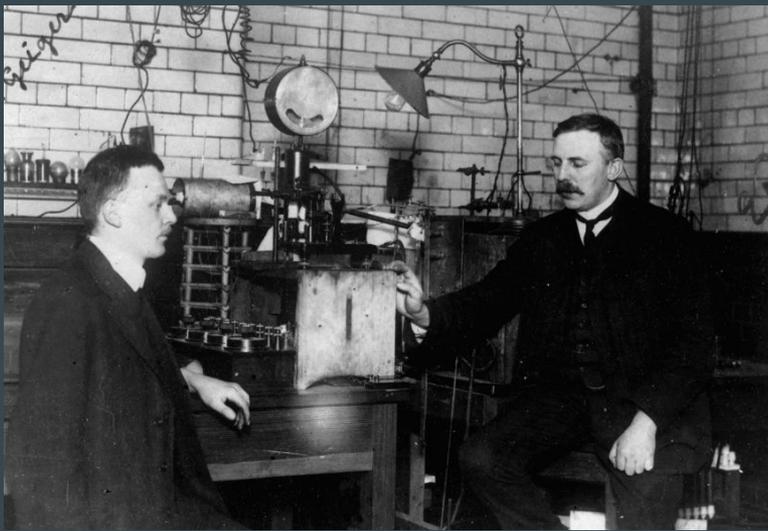
La radioattività e l'età della Terra

Rutherford studiò la natura della radiazione alpha e comprese che la particella che le formava è un nucleo di elio.

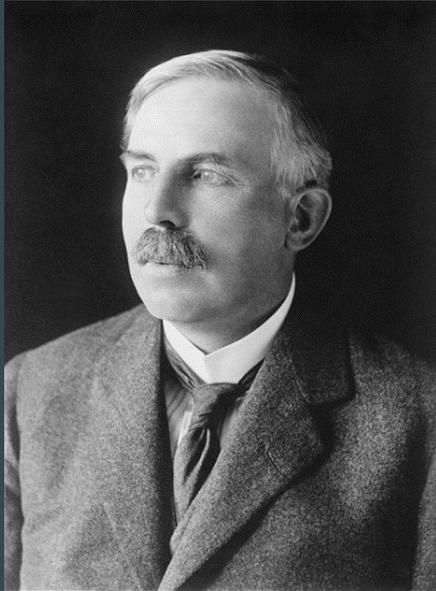
Assieme a Soddy, Rutherford comprese la trasmutazione radioattiva

I due stabilirono che il decadimento radioattivo segue una legge esponenziale e la iniziarono a usare per datare i fossili.

Rutherford ricevette il nobel per la chimica nel 1908, Soddy nel 1921.



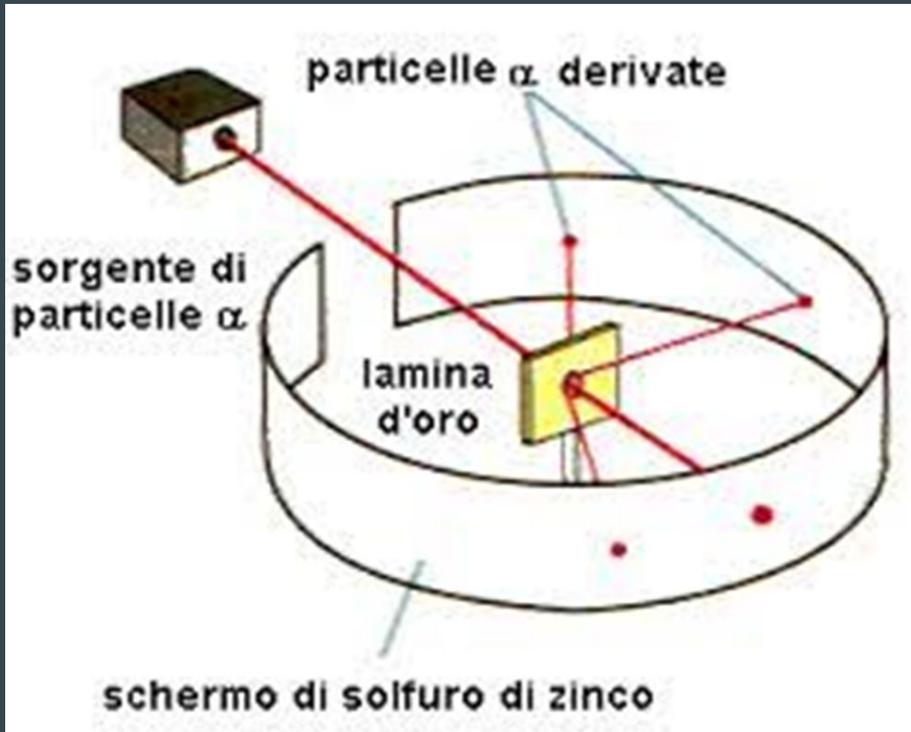
Esistono corpi più piccoli dell'atomo?



Nonostante i molti progressi fatti da Rutherford, gli esperimenti che aveva allestito nel 1908 erano ancora piuttosto primitivi. La migliore descrizione la diede lui stesso dicendo: «non abbiamo soldi, per cui dovremo riflettere». Gli studenti e il personale del suo gruppo di ricerca erano famosi per usare oggetti come lattine, scatole di tabacco e ceralacca accompagnati da molto olio di gomito. Scoprire come testare la natura con metodi primitivi ma intelligenti era una sfida entusiasmante. Come scrisse il fisico australiano Mark Oliphant, uno dei suoi studenti: «[Rutherford] aveva moltissime idee, ma erano sempre idee semplici. Gli piaceva descrivere a parole ciò che accadeva».¹⁵ Lo stesso si era verificato con la sua idea dell'atomo.

Rutherford descrisse la sua idea di atomo all'inizio del secolo come: «un tipo solido, rosso o grigio a seconda dei gusti». È facile immaginare i minuscoli atomi che costituiscono il cibo che mangiamo, i nostri corpi e il pianeta come piccole palle da biliardo, un'immagine che spesso ci viene insegnata a scuola.¹⁶ Nel 1908, anche se erano passati dieci anni da quando Thomson aveva scoperto l'elettrone, i fisici non sapevano nulla della struttura interna dell'atomo. Ma Rutherford stava iniziando a sospettare che la composizione dell'atomo e la radioattività fossero strettamente legate tra loro.

1909, L'esperimento della lamina d'oro



Rutherford utilizzò prima elettroni, poi particelle alpha, come proiettili per indagare la natura di altre sostanze, usate come bresaglie.

1909 esperimento con la lamina d'oro (Marsden e Geiger)

«la cosa più incredibile che avessi mai visto. E come sparare una granata da quindici pollici contro un foglio di carta velina e vedersela rimbalzare indietro!»

1911 modello atomico di Rutherford

Quando paragoniamo l'Universo, come lo si suppone oggi, con l'Universo come ce lo rappresentavamo una volta, il cambiamento più impressionante non è il riordinamento dello spazio e del tempo fatto da Einstein, ma la dissoluzione di tutto ciò che consideravamo quanto di più solido ci fosse in minutissimi frammenti fluttuanti nel vuoto. Ciò dà un brusco colpo a coloro i quali pensano che le cose siano più o meno ciò che appaiono. La rivelazione per opera dei fisici moderni, del vuoto dentro l'atomo sconvolge più della rivelazione fatta dall'astronomia dell'immenso vuoto dello spazio interstellare.¹⁹

Arthur Eddington, *The Nature of Physical world*, 1928

“... se avessi un cannone più potente!”

1919 Rutherford provoca la prima reazione nucleare inviando particelle alfa contro un bersaglio di azoto e identifica la particella che possiede una unità di carica positiva del nucleo: **il protone**.

“Caspita! – esclamò Rutherford compiaciuto, esaminando i risultati del bombardamento – Se avessi una batteria di cannoni più potenti!”, aggiunse con una punta di rammarico, immaginando quello che avrebbe potuto ottenere con mezzi ancora tutti da inventare. Ernest Rutherford, da poco fatto (non per meriti militari ma scientifici) Lord Rutherford di Nelson, stava riflettendo sui risultati di un esperimento che consisteva nel bombardare un sottilissimo foglio d'oro con raggi α (che oggi sappiamo essere i nuclei dell'elio, cioè due protoni legati a due neutroni) emessi da sorgenti radioattive. Possiamo dire che da questo esperimento partì la fisica nucleare e si cominciarono a ideare cannoni sempre più potenti che saranno poi chiamati acceleratori.

1932, “annus mirabilis” della fisica delle particelle

- gennaio, Harlod Urey alla Columbia University (NY, USA) scopre il **deuterio**
- febbraio, James Chadwick del Cavendish Laboratory (Cambridge, UK) scopre il **neutrone**
- aprile, John Cockcroft e E.T.S. Walton al Cavendish Laboratory (Cambridge, UK) **disintegrano nuclei di Litio** bombardandoli con protoni accelerati a 250 keV con il primo acceleratore di particelle
- agosto, Carl Anderson del Caltech (California, USA) scopre il **positrone**

6 premi Nobel negli anni successivi

VII Congresso Solvay, 1933



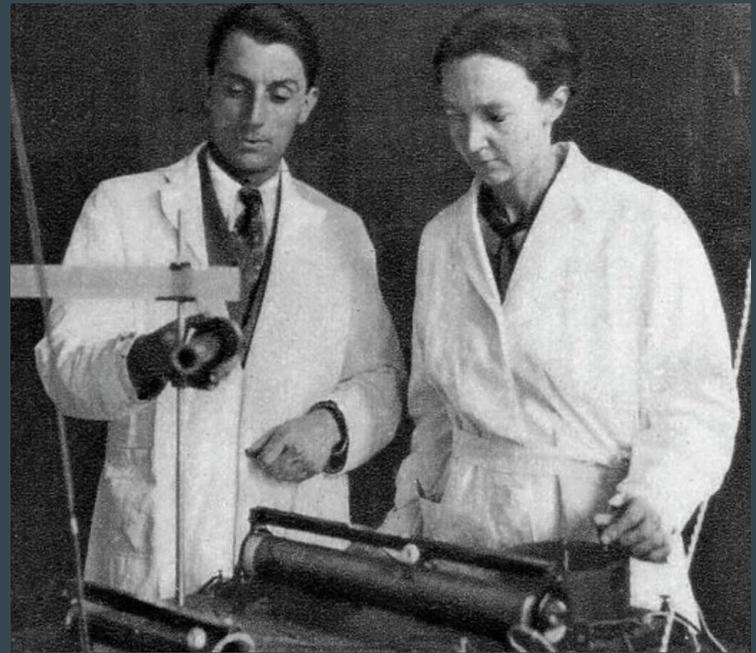
Photo Benjamin Couprie

28, avenue Louise, Bruxelles

	H. A. KRAMERS		N. F. MOTT	G. GAMOW	P. BLACKETT		M. COSYNS		Aug. PICCARD	
	E. STAHEL		P. A. M. DIRAC		J. ERRERA		C. D. ELLIS		E. O. LAWRENCE	
E. HENRIOT	F. JOLIOT	W. HEISENBERG	E. T. S. WALTON	P. DEBYE	B. CABRERA	W. BOTHE	Ed. BAUER	J. E. VERSCHAFFELT	J. D. COCKROFT	L. ROSENFELD
F. PERRIN			E. FERMI			M. S. ROSENBLUM	W. PAULI	E. HERZEN	R. PEIERLS	
E. SCHRÖDINGER	M ^{me} I. JOLIOT	N. BOHR	A. JOFFÉ	M ^{me} CURIE	O. W. RICHARDSON	Lord RUTHERFORD	M. de BROGLIE		M ^{lle} L. MEITNER	J. CHADWICK
					P. LANGEVIN		Th. DE DONDER		L. de BROGLIE	

Absents : A. EINSTEIN et Ch.-Eug. QUYE

1934, la radioattività indotta



Nel 1934, Lawrence entrò nel laboratorio di corsa sventolando una copia di una rivista francese. Quando riprese fiato, diede la notizia alla sua équipe: a Parigi Irène Curie e Frédéric Joliot avevano indotto la radioattività usando particelle alfa naturali con elementi leggeri come bersagli. Non avevano nemmeno usato un acceleratore.

1934, Enrico Fermi e i “ragazzi di via Panisperna”

Fermi ebbe l'idea di utilizzare **neutroni** anziché particelle alpha come proiettili; inoltre con un'intuizione molto acuta decise di usare **neutroni lenti** (rallentati o moderati da un materiale ricco di idrogeno come la paraffina o l'acqua). La squadra di Fermi - **Rasetti, Segré, Amaldi, Pontecorvo** - bombardò sistematicamente un elemento della tavola periodica dopo l'altro. Arrivati all'uranio (allora ultimo elemento della tavola) pensarono di aver scoperto il primo elemento transuranico ma poco dopo Fermi comprese l'errore... e non solo lui.

Il conferimento del Premio Nobel del 1938 permise a Fermi di abbandonare l'Italia e rifugiarsi negli USA



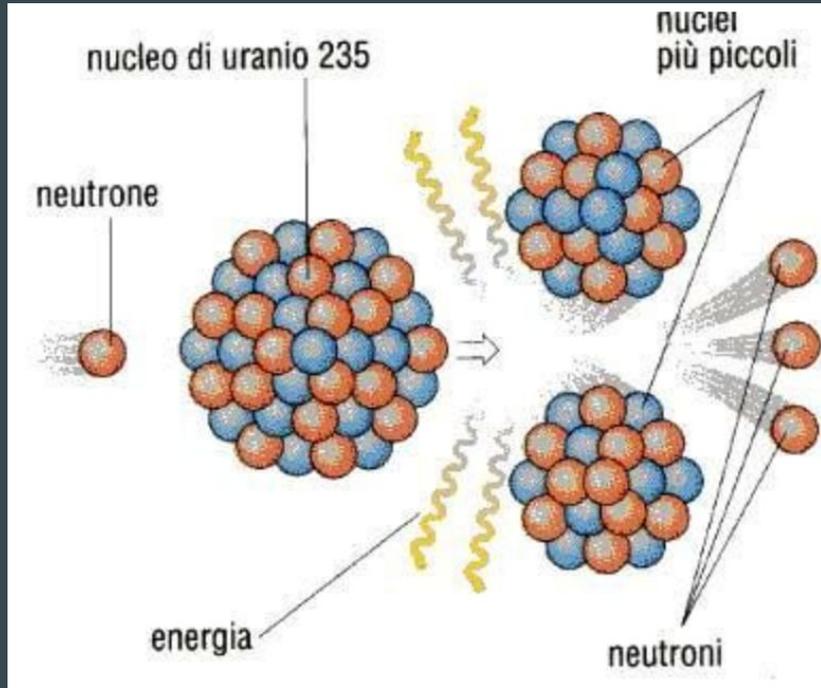
Lise Meitner, Otto Hahn, Fritz Strassmann

Lise Meitner, fisica austriaca ebrea, prima donna professoressa ordinaria di fisica, stava studiando i risultati degli esperimenti di Fermi insieme ai colleghi e amici, il radiochimico Otto Hahn e il chimico Fritz Strassmann, quando l'ascesa al potere di Adolf Hitler la costrinse a fuggire da Berlino per rifugiarsi in Svezia (nel 1938).

Hahn e Strassmann continuarono gli esperimenti ma non ne comprendevano i risultati, così scrissero alla Meitner a dicembre del 1938 per chiederle aiuto.



1939 Lise Meitner e Otto Frisch: la fissione nucleare



dopo aver bombardato l'uranio con neutroni lenti si formava del Bario.

La Meitner, utilizzando il modello a goccia di Bohr, ipotizzò che il nucleo atomico potesse essersi spezzato in grossi frammenti rilasciando una considerevole quantità di energia. Spiegò ai colleghi di Berlino come fare le verifiche sperimentali e nel **gennaio del 1939** Hahn e Strassmann pubblicarono l'articolo con i risultati, mentre la Meitner e Frisch pubblicarono l'articolo con la spiegazione teorica, chiamando fissione nucleare la reazione studiata.

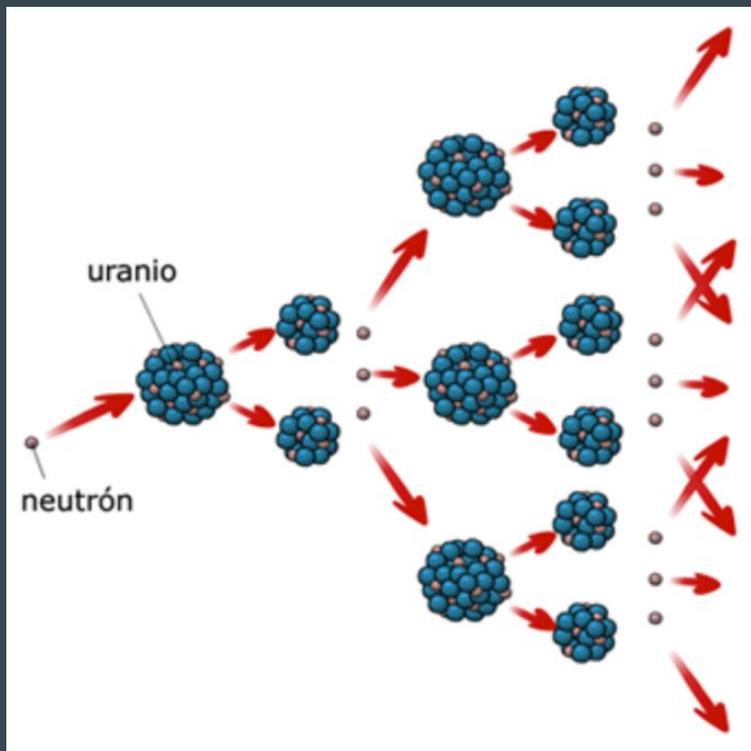
I Marziani di Budapest

*“There is a rumor in America that there are two intelligent races on Earth:
Humans and Hungarians” — Isaac Asimov*

Eugene Wigner, John Von Neuman, Edward Teller, Leo Szilard



Leo Szilard, la reazione a catena e gli incubi



Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

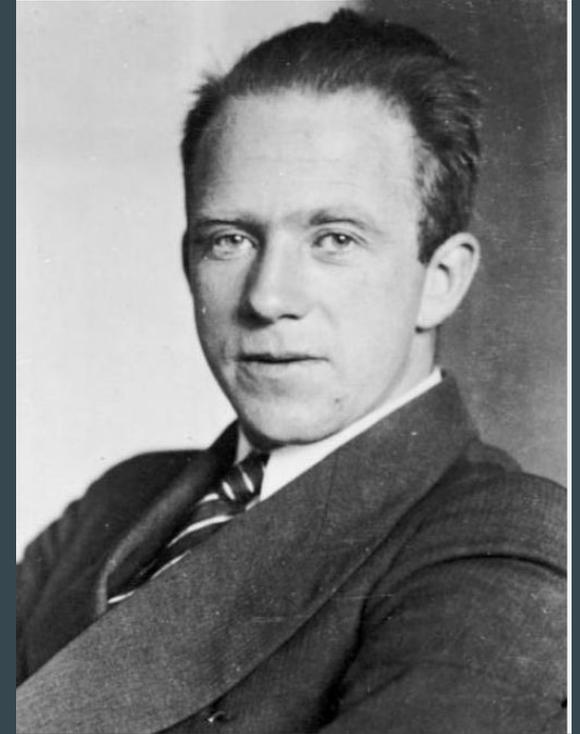
In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

1939, la lettera



1939, *Uranverein*, Il Club dell'Uranio



Kurt Diebner, Karl Friedrich von Weizsacker, Werner Heisenberg

Copenaghen, settembre 1941: l'incontro misterioso



Una produzione Compagnia Umberto Orsini e Teatro di Roma - Teatro Nazionale In co-produzione con CSS Teatro stabile di innovazione del FVG

COPENAGHEN

di MICHAEL FRAYN
traduzione Filippo Ottoni e Maria Teresa Petrucci

Regia
Mauro Avogadro

Massimo POPOLIZIO
e Werner Karl Heisenberg

Giuliana LOJODICE
e Margrethe Bohr

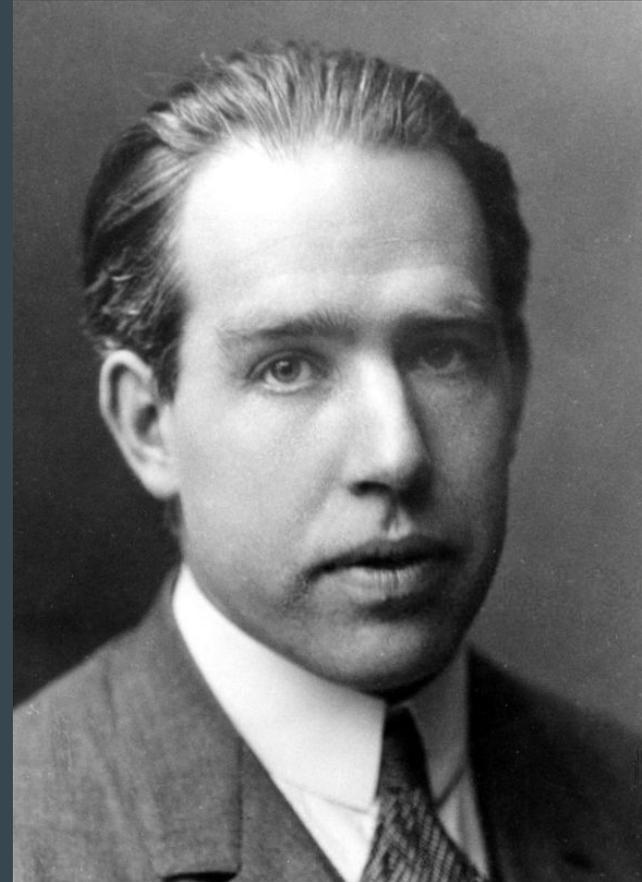
Umberto ORSINI
e Niels Bohr

1941, Il rapporto MAUD

Molti, tra i quali **Niels Bohr**, restavano scettici sulla realizzabilità di un ordigno a causa della difficoltà nella separazione degli isotopi dell'uranio: solo il 235 è fissile, ma costituisce meno dell'1% dell'uranio in natura.

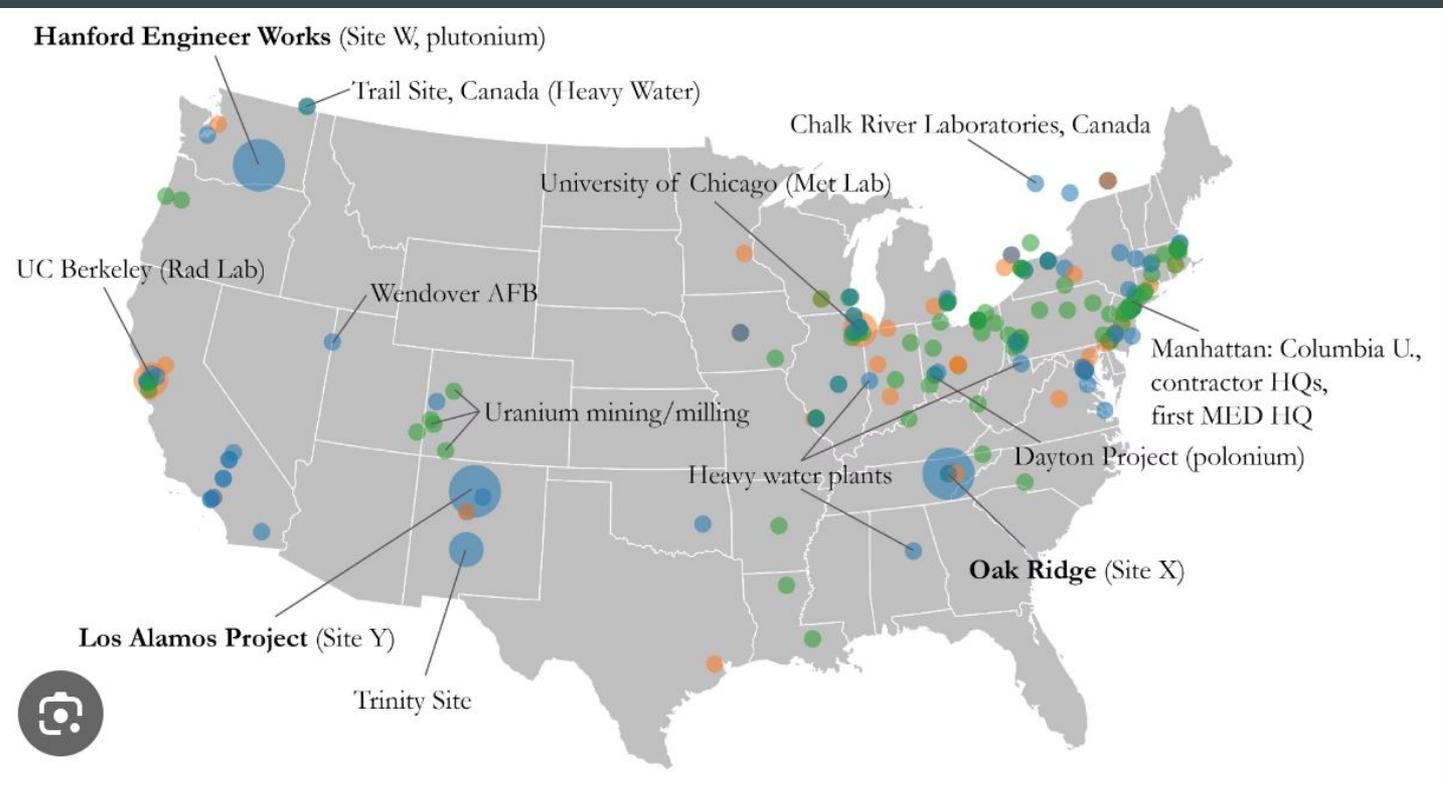
In Inghilterra Otto Frisch e Rudolph Peierls calcolarono la massa critica di uranio per fabbricare un ordigno ("Tube Alloys" nome in codice del progetto atomico inglese): la quantità era grande ma non enorme (come stimato da Bohr). Nel 1941 tale stima venne trasmessa al presidente Roosevelt con il rapporto MAUD.

A dicembre del 1941 prende avvio il progetto Manhattan.

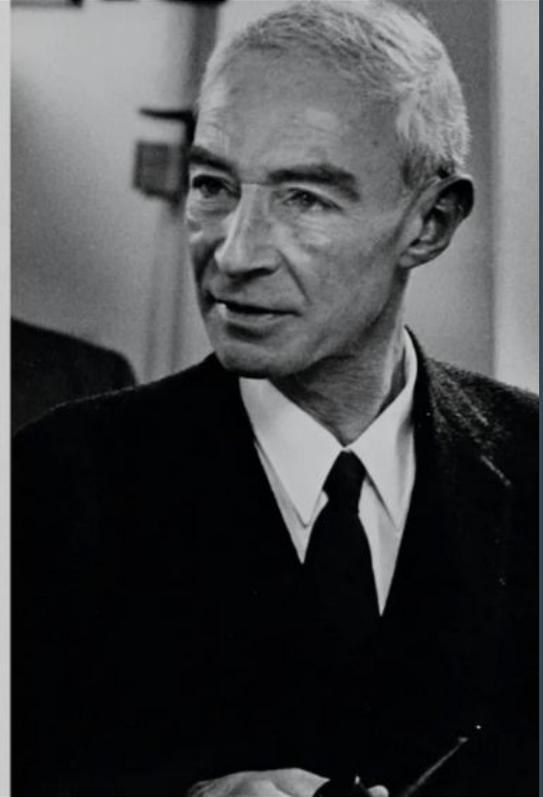
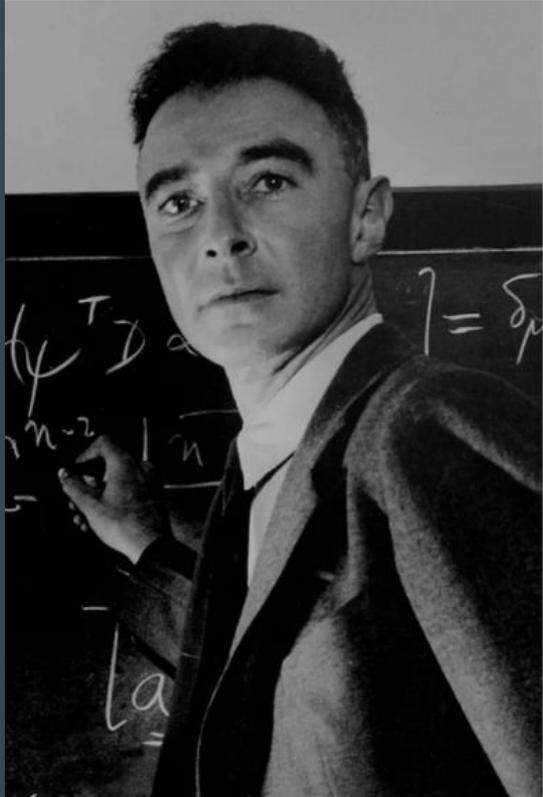


Manhattan nel deserto

nato come progetto di ricerca, crebbe fino a occupare più di 130 000 persone, costando alla fine oltre 2 miliardi di dollari dell'epoca (39 miliardi di dollari del 2022)

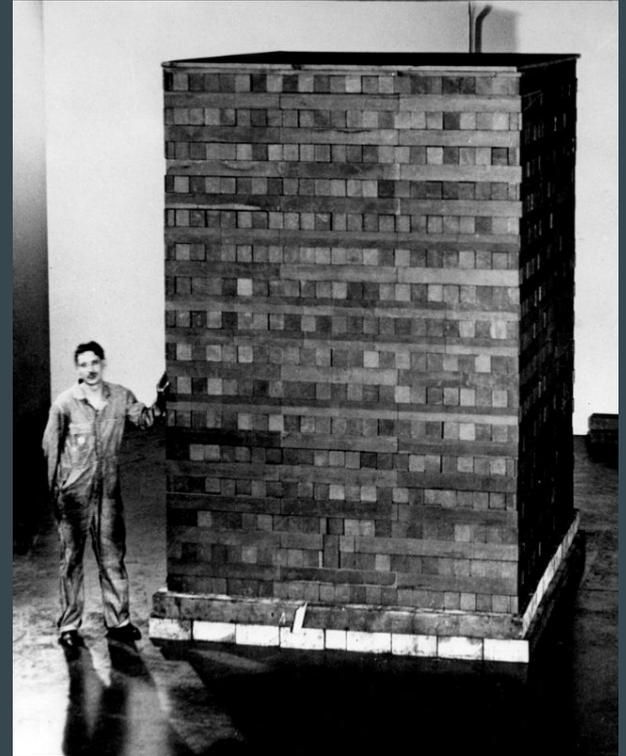
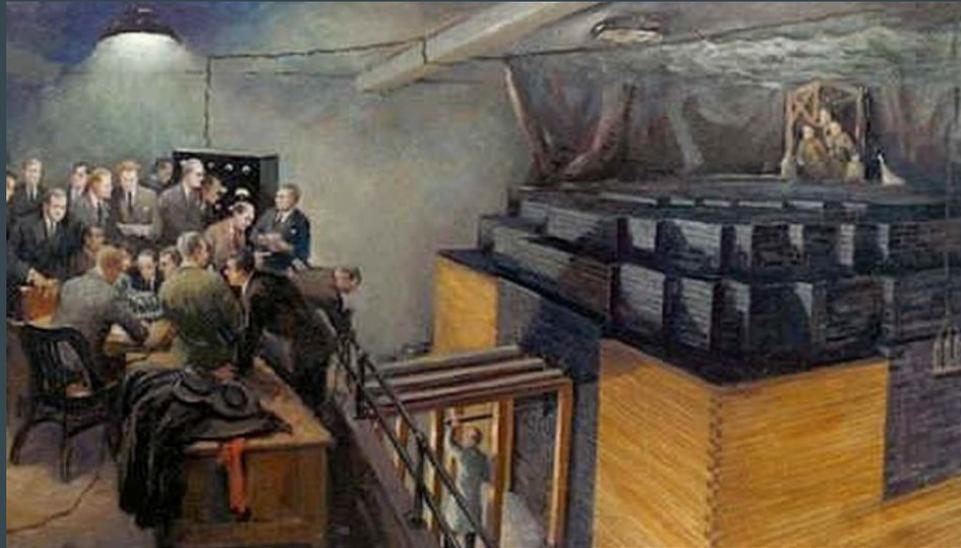


Perché J. Robert Oppenheimer?



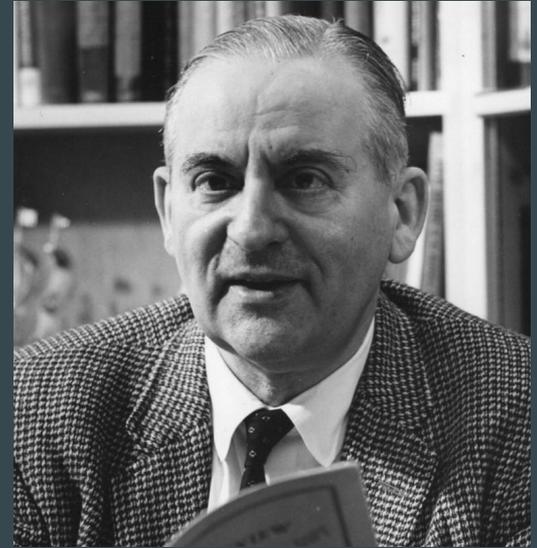
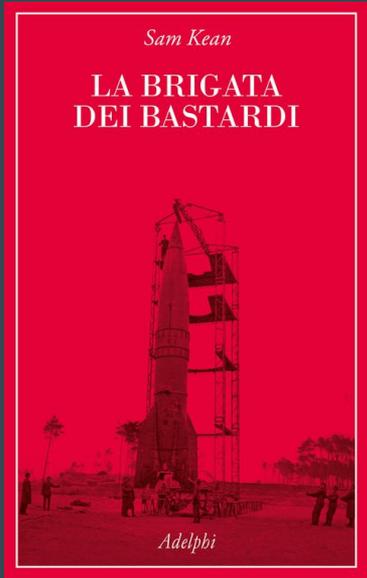
2 dicembre 1942: la prima reazione a catena controllata, la pila di Fermi

inizia l'era nucleare

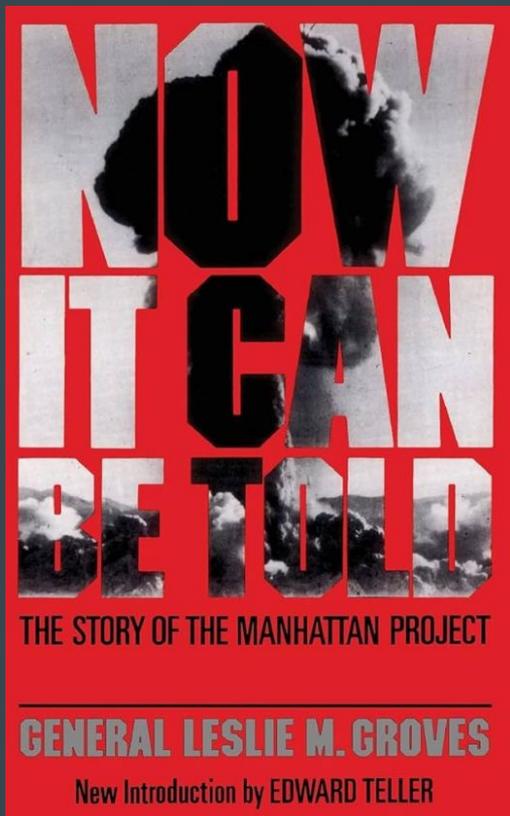


L'operazione Alsos

il boicottaggio del progetto nucleare tedesco

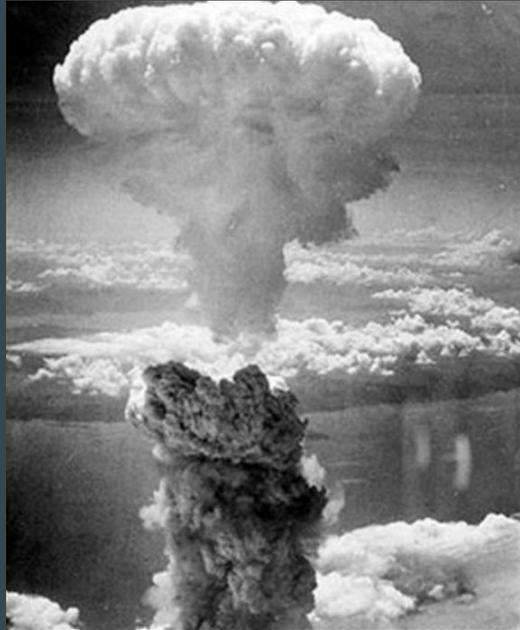


I fisici di Farm Hall

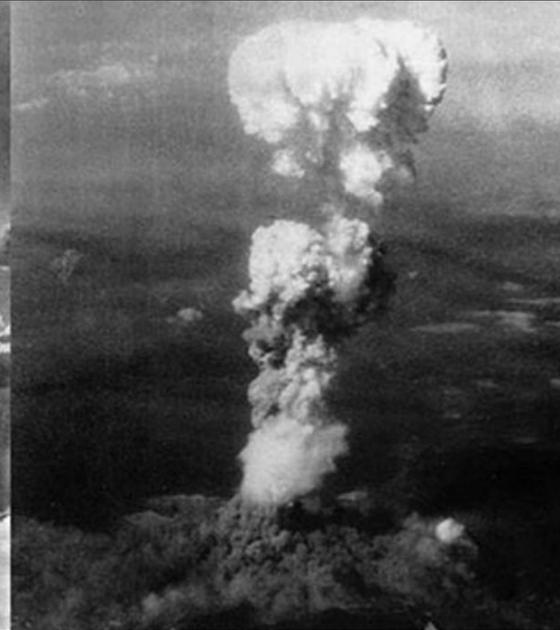




Trinity, 16 luglio 1945,
19 kT



Nagasaki, 9 agosto 1945;
18-23 kT



Hiroshima, 6 agosto 1945
12,5 -18 kT

Primo esperimento degli Stati che possiedono armi nucleari

Nazione	Nome in codice del test	Località	Data	Potenza in chilotoni (kT)	Numero totale di test effettuati
 Stati Uniti	Trinity	Poligono di Alamogordo nel deserto di Jornada del Muerto nel Nuovo Messico,  Stati Uniti	16 luglio 1945	19	1 054 ^[5]
 Unione Sovietica ^[6]	RDS-1 ^[7]	Poligono di Semipalatinsk,  Kazakistan ^[8]	19 agosto 1949	22	715 ^[9]
 Regno Unito	Hurricane	Montebello Island nella regione di Pilbara,  Australia	3 ottobre 1952	25	45 ^[10]
 Francia	Gerboise bleue	Oasi di Reggane nel deserto del Sahara, provincia di Adrar,  Algeria ^[11]	13 febbraio 1960	70	210 ^[12]
 Cina	596	Lop Nur nel Deserto di Taklamakan, Regione Autonoma Uigura dello Xinjiang,  Cina	16 ottobre 1964	22	45 ^[10]
 India	Smiling Buddha	Pokaran nel Rajasthan,  India	18 maggio 1974	12	6
 Pakistan	Chagai-I	Chagai Hills, nel distretto di Chagai, in Belucistan,  Pakistan	28 maggio 1998	36–40	6
 Corea del Nord	<i>sconosciuto</i>	Sito di Punggye-ri nella contea di Kalju nella parte nord di Hamkyong,  Corea del Nord ^[13]	9 ottobre 2006	~1 ^[14]	4

Altri esperimenti rilevanti

Nazione	Nome in codice del test	Località	Data	Potenza in chilotoni (kT)	Note
 Stati Uniti	Crossroads - Able	Atollo di Bikini,  Isole Marshall ^[16]	1° luglio 1946	23	Primo test atomico statunitense dopo il Trinity. Il "fungo atomico" salì rapidamente in 3 minuti e 30 secondi all'altezza di 10 000 metri. Affondarono subito tre navi scorta e un cacciatorpediniere e, il giorno seguente, un incrociatore di 10 000 tonnellate, tutti ancorati nel raggio di un chilometro dall'epicentro dello scoppio.
 Stati Uniti	Crossroads - Baker	Atollo di Bikini,  Isole Marshall ^[16]	25 luglio 1946	23	Primo test sott'acqua della storia alla profondità di 71 metri
 Stati Uniti	George	Atollo di Enewetak,  Isole Marshall ^[16]	8 maggio 1951	225	Prima bomba a fissione-fusione della storia che liberò un'energia di alcune centinaia di chilotoni
 Unione Sovietica	Joe 4 ^[17]	Poligono di Semipalatinsk,  Kazakistan ^[18]	12 agosto 1952	400	Prima "superbomba" sovietica
 Stati Uniti	Ivy Mike	Atollo di Enewetak,  Isole Marshall ^[16]	1° novembre 1952	10 400	Prima vera e propria bomba all'idrogeno statunitense
 Stati Uniti	Castle Bravo	Atollo di Bikini,  Isole Marshall ^[16]	1° marzo 1954	15 000 ^[19]	La più potente bomba all'idrogeno sperimentata dagli USA
 Unione Sovietica	RDS-37	Poligono di Semipalatinsk,  Kazakistan ^[18]	23 novembre 1955	1 600 ^[20]	Prima vera bomba all'idrogeno sovietica
 Regno Unito	Grapple X	Tra le isole Malden e Kirimati,  Kiribati ^[21]	8 novembre 1957	1 800	Prima bomba termonucleare "staged"
 Unione Sovietica	Ivan	Baia di Mitjušicha sull'isola di Novaja Zemlja a nord del Circolo Artico,  Russia ^[18]	31 ottobre 1961	57 000	La più potente bomba all'idrogeno mai sperimentata dall'uomo
 Cina	Test n. 6	Lop Nur, Malan, Xinjiang,  Cina	17 giugno 1967	3 300	Prima bomba termonucleare "staged"
 Francia	Canopus	Atollo di Fangataufa, Polinesia Francese,  Francia	24 agosto 1968	2 600	Prima bomba termonucleare "staged"
 India	Pokhran-II	Presso Pokaran, Rajasthan,  India	11 maggio 1998	60	Prima potenziale bomba a fusione "boosted" / Prima bomba a fissione "deployable"
 Corea del Nord	sconosciuto	Sito di Punggye-ri nella contea di Kalju nella parte nord di Hamkyong,  Corea del Nord	25 maggio 2009	5-15	Secondo test nordcoreano di una bomba a fissione

Bibliografia.

