

QUESTO FASCICOLO

è stato redatto a cura di

ANTONIO GANDOLFI, RITA SERAFINI e SILVANO SGRIGNOLI

QUOTE DI ASSOCIAZIONE 2009 (anno solare)

Socio ordinario	€ 35,00
Socio aggregato (solo studenti)	€ 17,00
Socio sostenitore	€ 55,00
Socio collettivo	€ 35,00
Socio all'estero: aggiungere € 6 per spese postali.	

I versamenti vanno eseguiti sul C.C.P. n. 12428041 intestato all'Associazione Insegnamento Fisica - A.I.F. c/o Istituto Statale "Giulio Natta", Via Europa 15, 24125 Bergamo; aif@aif.it.

Le quote sociali vanno intese al netto delle spese postali di versamento.

Si prega di scrivere con chiarezza, preferibilmente a stampatello, cognome, nome, indirizzo privato e scuola dove si insegna, precisando se si tratta di RINNOVO oppure NUOVA ISCRIZIONE.

Ai Soci viene inviata gratuitamente «La Fisica nella Scuola» e, in via sperimentale, i Supplementi.

La spedizione in abbonamento ha corso dalla data di ricevimento del versamento. Non si spediscono arretrati. Ai soci morosi la spedizione del Bollettino viene sospesa a partire dal n. 2, aprile-giugno di ogni anno.

Per problemi relativi a disfunzioni nell'arrivo della rivista e per cambi di indirizzo rivolgersi a: AIF Segreteria Soci, c/o Istituto Statale "Giulio Natta", Via Europa 15, 24125 Bergamo; segreteria@aif.it.

ABBONAMENTI RIVISTE 2009

I Soci A.I.F. possono abbonarsi al *Giornale di Fisica* (trimestrale edito dalla SIF) e a *Quaderni di Storia della Fisica* alla quota ridotta di 30,00 €. Il versamento deve essere fatto sul CCP 19197409 intestato a Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F. - via Saragozza 12, 40123 Bologna BO, indicando il proprio codice di socio A.I.F. (il codice è stampato sulla fascetta di spedizione de *La Fisica nella Scuola*).



Associazione per l'Insegnamento della Fisica

XLVII CONGRESSO NAZIONALE

ROMA, 22-25 OTTOBRE 2008

“La Fisica italiana tra ricerca e didattica”

CENTRO CONGRESSI 'SALESIANUM'

Vincenzo Cioci

ITIS "A. Einstein", Potenza

Gruppo di Ricerca in Didattica e Storia della Fisica dell'Università della Calabria

Edoardo Amaldi e il rifiuto delle applicazioni militari della Fisica nucleare

I fisici romani, capeggiati da Edoardo Amaldi, nell'inverno del 1940-41, decisero di abbandonare le ricerche sulla fissione dell'Uranio per non essere costretti a lavorare alla costruzione delle armi atomiche e concorrere così ad aumentare le capacità distruttive dell'Asse Roma-Berlino.

In questo contributo si vuole tentare di ripercorrere come storicamente maturò questa decisione, sottolineando la scelta fondamentale del grande scienziato contro le applicazioni militari della Fisica nucleare.

1. Cenni Biografici

Edoardo Amaldi nacque il 5 settembre 1908 a Carpaneto Piacentino (Piacenza), dal matematico Ugo, docente universitario di Algebra, Geometria ed Analisi (prima a Cagliari, poi a Modena, Padova ed infine a Roma), e da Laura Basini.

Grazie alla famiglia, sin da ragazzo aveva respirato aria di grande cultura. Diciassettenne, mentre si trovava in vacanza con i suoi in Val Gardena, sulle Dolomiti, conobbe Enrico Fermi, allora professore a Firenze. Alla compagnia si aggregò pure il giovane fisico olandese R. de L. Kronig. Edoardo, che partecipò a numerose escursioni in montagna insieme con loro, rimase affascinato dai lunghi dialoghi di Fisica fra i due scienziati anche se ne capiva ben poco.

Quello stesso anno si iscrisse alla facoltà di Ingegneria a Roma. Si riteneva allora infatti che la laurea in Fisica non consentisse di conseguire una buona posizione, superiore a quella dell'insegnante di scuola media. Nel 1927 accolse, però, l'appello rivolto dal suo docente di Fisica sperimentale, Orso Maria Corbino, Direttore dell'Istituto di Fisica di via Panisperna, agli studenti di elevata capacità ed interessati alla ricerca, e passò al corso di laurea nella disciplina di cui era appassionato, attirato dalle nuove possibilità che si aprivano con la chiamata a Roma di Fermi alla cattedra di Fisica teorica.

Amaldi sarebbe stato, ben presto, partecipe delle attività del gruppo guidato da Fermi e Rasetti, al quale si unirono presto anche Emilio Segrè ed Ettore Majorana. Fino all'arrivo di Bruno Pontecorvo fu il più giovane dei "ragazzi di via Panisperna" e venne perciò soprannominato "Fanciulletto" o anche "Adone".

Già nel 1928 pubblicò il suo primo lavoro sulla dispersione anomala del Mercurio e del Litio in collaborazione con E. Segrè. Si laureò nel luglio del 1929 con una tesi sull'effetto Raman nel Benzolo. Mentre da Fermi, che nella parte iniziale della sua carriera era essenzialmente un teorico, apprese gli insegnamenti di Fisica moderna, dal suo relatore, Franco Rasetti, imparò le tecniche di Fisica sperimentale: sarebbe diventato l'erede della tradizione di ricerca istituita in Italia da questi grandi fisici.

Dopo il servizio militare, nel 1931, trascorse dieci mesi a Lipsia grazie ad una borsa di studio dell'Opera Alberoni di Piacenza, per lavorare sotto la guida di Peter Debye sulla diffrazione dei raggi X nei liquidi. Ritornato in Italia, divenne assistente di Corbino e continuò le sue ricerche nel campo della spettroscopia. Nel 1932 realizzò, insieme con George Placzek, uno studio sullo spettro rotazionale Raman dell'Ammoniaca che costituì la prima prova sperimentale delle regole di selezione corrispondenti che da poco erano state ri-

cavate da Placzek e Teller. Dal 1932 al 1934 pubblicò diversi lavori, alcuni con Segrè ed uno con Fermi, sui termini superiori dei metalli alcalini.

1.1 Amaldi e la Fisica nucleare

L'interesse del gruppo di Roma per lo studio della Fisica nucleare cominciò nel 1932, anno in cui avvenne la scoperta del neutrone ad opera di James Chadwick.

Già nel settembre del 1929, in un celebre discorso pronunciato alla società Italiana per il Progresso delle Scienze, Orso Maria Corbino, illustrando *I nuovi compiti della Fisica sperimentale* aveva dichiarato che visti i successi conseguiti, "mentre si presentano come improbabili grandi progressi della Fisica sperimentale nel suo dominio ordinario, molte possibilità sono aperte sulla via dell'aggressione del nucleo atomico; il vero campo della Fisica di domani". Questi studi avrebbero avuto come obiettivo finale sia la trasmutazione degli atomi in quantità apprezzabili che la "constatazione" delle enormi quantità di energia che verrebbero a manifestarsi "nei casi di frantumazione e ricostruzione del nucleo".¹

Occorreva però affrontare sia l'aspetto teorico della questione che quello sperimentale. Amaldi curò l'organizzazione di un seminario periodico che si svolgeva nell'Istituto di Fisica di Roma dedicato all'approfondimento del testo di Rutherford, Chadwick e Ellis, "Radiations From Radioactive Substances", del 1930. Rasetti, nel 1932, era stato a Berlino per circa un anno sotto Lise Meitner per apprendere le tecniche d'indagine nucleari, Amaldi nell'estate del 1934 andò a visitare il Cavendish Laboratory di Cambridge dove lavorava Rutherford.

All'inizio del 1934 Irène Curie e Frédéric Joliot scoprirono la radioattività artificiale: colpendo, con particelle alfa, atomi di boro o alluminio avevano ottenuto nuovi isotopi radioattivi rispettivamente dell'azoto e del fosforo. Nel marzo di quello stesso anno Fermi pensò di utilizzare i neutroni, che essendo neutri non avrebbero risentito della repulsione elettrica del nucleo, per ottenere nuove sostanze radioattive e cominciò a bombardare in modo sistematico gli elementi della tavola periodica. Dopo i primi risultati positivi, chiese anche ad Amaldi e Segrè di aiutarlo: in una fase iniziale delle ricerche Amaldi si occupava di quella che oggi sarebbe detta l'elettronica collegata all'esperimento.

Dopo diversi mesi di lavoro sulla radioattività indotta da neutroni, nell'ottobre del 1934, sotto la guida di Fermi, insieme con Pontecorvo, Rasetti, Segrè ed il chimico D'Agostino, Amaldi osservò gli effetti di amplificazione dell'intensità dell'attivazione ottenuti interponendo, fra la sorgente ed il bersaglio, dei mezzi idrogenati: l'amplificazione avveniva per effetto del rallentamento dei neutroni provocato dagli urti con i nuclei d'idrogeno. La scoperta fu di una tale portata che Roma poteva essere considerata la capitale della Fisica nucleare.

Dall'ottobre del 1935 al maggio del 1936, insieme con Fermi, Amaldi si dedicò allo studio sistematico dell'assorbimento e della diffusione dei neutroni lenti.

Nel 1937 Amaldi vinse il concorso per la cattedra di Fisica sperimentale all'Università di Cagliari ma, in seguito alla morte improvvisa di Corbino, venne chiamato all'Università di Roma, posizione che avrebbe tenuto per circa 41 anni.

Gli anni leggendari della Fisica italiana culminarono, nel 1938, col conferimento a Fermi del premio Nobel per la Fisica "per la scoperta di nuove sostanze radioattive appartenenti all'intero campo degli elementi e per la scoperta ... del potere selettivo dei neutroni lenti".

In seguito alle leggi razziali, però, che colpivano la moglie ebrea Laura Capon, Fermi da Stoccolma si rifugiò direttamente negli Stati Uniti d'America. Dopo meno di un anno il gruppo di via Panisperna si disperse e Amaldi fu l'unico a rimanere in Italia.

Molto si è scritto sul fatto che Fermi avesse lasciato l'Italia attirato "dai laboratori attrezzati e dagli abbondanti mezzi di ricerca" degli Stati Uniti d'America e che il suo trasferimento "fu più l'esecuzione di un piano a lungo meditato che una decisione improvvisa determinata dalle circostanze".² Nel maggio del 1938, infatti, la Presidenza del CNR ave-

va bocciato la proposta dello scienziato per la creazione di un Istituto nazionale di radioattività e la realizzazione di un ciclotrone che avrebbe permesso al gruppo romano di disporre di fasci di particelle di intensità certamente superiore di quelle ottenibili con le sorgenti naturali.

Già nel 1936, comunque, Fermi e Domenico Marotta, allora Direttore dell'Istituto di Sanità, avevano avanzato la proposta al Ministero degli Interni di costruire un acceleratore elettrostatico del tipo Cockcroft-Walton da un milione di Volt indubbiamente più economico di un ciclotrone. Questo acceleratore fu progettato dallo stesso Amaldi che, nell'inverno del 1938-1939, insieme con Franco Rasetti, Daria Bocciarelli e Giulio Cesare Trabacchi, ne completò la realizzazione, nei locali dell'Istituto Superiore di Sanità a Roma.

Tra il luglio e l'ottobre del 1939, Amaldi, grazie ad una sovvenzione della Fondazione "A. Volta", visitò diversi centri negli Stati Uniti dove erano in funzione o venivano costruiti dei ciclotroni, come ad esempio alla Columbia University, ad Ann Arbor nel Michigan ed al Radiation Laboratory di Berkeley, allo scopo di poterne progettare e costruire uno in Italia, da esporre alla Mostra della Scienza prevista per l'Esposizione Universale del 1942 a Roma.

In quella occasione, come Fermi, Rasetti e Segré prima di lui, tentò, senza esito, anche a causa dello scoppio improvviso della Seconda guerra mondiale, di porre le basi per il possibile trasferimento con la famiglia in America nel giro di qualche anno. Al ritorno nel suo Paese, era ben consapevole di doversi assumere la responsabilità di preservare dalla distruzione ciò che la Fisica italiana aveva realizzato.

Durante gli anni della guerra, dal 1939 al 1941, insieme con i suoi collaboratori, lavorò alla misura della sezione d'urto di neutroni veloci di varie energie contro nuclei di diverso numero atomico e allo studio della dipendenza della sezione d'urto per fissione dell'Uranio dall'energia dei neutroni incidenti.

Nel maggio del 1940 Amaldi fu arruolato nell'Esercito italiano e venne inviato al fronte in Nord Africa. Sei mesi più tardi, su richiesta della Facoltà di Scienze di Roma, gli venne permesso, insieme con tutti i professori di età superiore a 32 anni, di ritornare al lavoro in Italia. Decise, nell'inverno del 1940-41, di abbandonare il problema della fissione e di dedicarsi ad un tema generale di ricerca trattabile con i mezzi sperimentali a disposizione e il più lontano possibile dal precedente. Scelse le collisioni neutrone-protone e neutrone-deutone per investigare in modo indiretto le forze nucleari.

1.2 In Italia ancora alle vette della Fisica

Un avvenimento importante nella vita di Amaldi accadde nel 1946. Dopo la fine della guerra, Fermi gli offrì una cattedra all'università di Chicago, ma Edoardo rifiutò di entrare nel *gotha* della ricerca mondiale, preferendo contribuire alla ricostruzione della Fisica nel suo Paese. Lo considerò un dovere nei confronti dei suoi studenti e della cultura.

Nel 1946 indagò la diffusione elastica di neutroni veloci con nuclei pesanti. Dati gli scarsi mezzi a disposizione, nel 1947 passò allo studio dei raggi cosmici. Il suo interesse era rivolto al campo che oggi si chiama delle particelle elementari e i raggi cosmici ne rappresentavano la sorgente più efficace, disponibili gratis ed in grande quantità.

Amaldi fu promotore della ricerca in Italia nelle scienze fisiche per circa quarant'anni. Nel 1948, su richiesta di Amaldi, Fermi scrisse una lettera al Presidente del Consiglio Alcide De Gasperi per sostenere la richiesta del Presidente del CNR Gustavo Colonnetti di incrementare il finanziamento statale a 500 milioni annui.³ L'adeguamento arrivò per il bilancio 1950-51. Grazie a Colonnetti ed Amaldi, per garantire l'utilizzo delle risorse, nel 1951, nacque l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), che coordinava le attività scientifiche dei gruppi delle Università di Roma, Padova, Torino e poco dopo anche di Milano.

Nel 1959 entrò in funzione l'elettrosincrotrone di Frascati. L'iniziativa fu avanzata da G. Bernardini e fu approvata dal consiglio direttivo dell'INFN nel 1953. Amaldi aveva di-

feso il progetto e la scelta dell'ubicazione dell'acceleratore. Dal 1960 fu Presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), carica che ricoprì fino agli inizi del 1966.

Per tutta la vita fu alle frontiere della ricerca, affrontando imprese quasi insormontabili. Fra il '50 ed il '53 esaminò l'interazione dei mesoni veloci con i nuclei ed il decadimento di nuove particelle oggi conosciute come mesoni K. Nel 1955, osservò l'annichilazione dell'antiprotone in emulsioni nucleari. Nel 1960 scoprì la particella antisigma positiva. Fra il '61 e il '68 sviluppò esperimenti volti alla rivelazione dei monopoli magnetici previsti da Dirac. Nel 1971 iniziò la ricerca delle onde gravitazionali (insieme a G. Pizzella ed in collaborazione con le Università di Stanford e di Baton Rouge) previste da A. Einstein nel 1916. Su questo tema, nel 1979, tenne anche una relazione su invito al Congresso Nazionale AIF. Fra il '75 ed il '77 studiò la produzione multipla di raggi gamma prodotti nell'urto protone-protone ad energie di 50 GeV con l'anello ISR (Intersecting Storage Ring) del CERN.

1.3 Organizzatore della ricerca in Europa ed uomo di pace

Europeista convinto, il suo capolavoro fu, nel 1952, la nascita del CERN, il Centro europeo di ricerca nucleare. Sin dal 1948 Amaldi era ben consapevole della necessità di un unico laboratorio europeo, con un acceleratore di particelle in grado di competere e superare in energia quelli degli Stati Uniti: soltanto così sarebbe stato possibile evitare la fuga di cervelli dall'Italia verso i laboratori degli altri Paesi.

Subito dopo il 5° Convegno Generale dell'UNESCO, tenutosi a Firenze nel giugno del 1950, in cui il fisico americano Isidore Rabi presentò una risoluzione al fine di incentivare "la formazione e l'organizzazione di centri di ricerca regionali", Amaldi che dal 1948 era Vicepresidente dell'IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics), insieme con Pierre Auger che ricopriva l'incarico di Direttore per le Scienze naturali ed esatte dell'UNESCO, svolse un compito fondamentale nel convincere i fisici europei ed i rappresentanti dei Governi alla realizzazione del progetto.

Amaldi fu Segretario generale dell'organizzazione provvisoria dal 1952 al 1954, anno in cui si giunse alla ratificazione del CERN da parte dei Parlamenti dei Paesi Membri. Nella carta costitutiva di questo organismo si afferma che le ricerche non devono avere "alcuna connessione con il lavoro militare e che i risultati degli esperimenti e del lavoro teorico devono essere pubblicati".⁴ Come in altre occasioni, avendo ormai avviato questa Istituzione, Amaldi chiari di non avere ambizioni personali e di non voler ricoprire incarichi ufficiali. Diede ancora il suo servizio come Vice Direttore Generale fino al 1955, Vicepresidente della Commissione politica dal '58 al '60, membro del Consiglio del CERN dal 1960 al 1973, Vicepresidente del Consiglio dal 60 al 62 e Presidente del Consiglio nel 1970 e 1971.

Dopo il lancio da parte dei Sovietici del satellite Sputnik nel 1957, sollecitò i rappresentanti dei Governi europei affinché riunissero gli sforzi per consentire agli scienziati dei rispettivi Paesi di collaborare allo studio e all'esplorazione dello spazio extraterrestre. In seguito al suo impegno, nel 1964 sarebbe nato ESRO (European Space Research Organization) e poi da questa l'ESA (European Space Agency) senza alcuna connotazione militare né collegamento con qualsivoglia agenzia bellica. Amaldi era convinto che il contesto militare sarebbe stato sicuramente un ostacolo allo sviluppo della scienza, caratterizzata da aperta cooperazione e dalla libera circolazione delle informazioni. A Pierre Auger, che ebbe una parte importante anche nella nascita dell'ente europeo per la ricerca spaziale, scrisse il 6 febbraio 1959, "L'organizzazione deve essere puramente civile ed a carattere strettamente scientifico, senza vincoli militari o di segreto in genere".⁵

Mosso dal senso di responsabilità per aver partecipato alle ricerche di Fisica nucleare che determinarono in ultima analisi l'impiego delle armi atomiche, si adoperò per il controllo internazionale degli armamenti. Nel 1962 diventò membro del Comitato Direttivo del Movimento Pugwash per il disarmo nucleare al quale aveva aderito fin dalla sua fon-

dazione, nel 1957. Nella seconda metà degli anni '60 mise in campo tutta la sua influenza per sostenere l'adesione dell'Italia al Trattato internazionale di Non Proliferazione che andò in vigore nel marzo del 1970.

Dal 1981 al 1984, partecipò all'elaborazione dei rapporti redatti per iniziativa della Pontificia Accademia delle Scienze, sulle conseguenze di una guerra nucleare, dando un contributo di "inestimabile valore" alla causa della pace.⁶

Nel 1982, a capo di una delegazione di fisici italiani, presentò al Presidente della Repubblica, Sandro Pertini, un documento in cui veniva espressa la preoccupazione per la corsa agli armamenti ed in particolare per l'installazione dei missili Cruise in Europa e in Italia.

Nel 1988 divenne Presidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei della quale era membro dal 1948. Nell'ambito dell'Accademia fondò anche il Gruppo di lavoro per la Sicurezza Internazionale e il Controllo degli Armamenti (SICA) che organizza Conferenze annuali che proseguono anche dopo la sua morte e sono chiamate "Amaldi Conferences".

Difese sempre l'uso pacifico dell'energia nucleare promovendo, ad esempio, ricerche specifiche sulle concrete possibilità di riutilizzare per scopi pacifici il materiale fissile contenuto nelle testate atomiche smantellate nel processo di riduzione degli arsenali nucleari. Il discorso pubblico tenuto una settimana prima della sua morte, avvenuta a Roma il 5 dicembre del 1989, era una dettagliata analisi quantitativa di questa proposta.

2. Il rifiuto delle applicazioni militari della Fisica nucleare

La decisione di abbandonare le ricerche sulla fissione nucleare è descritta innanzitutto nel discorso, già citato da diversi autori, dal titolo *Gli anni della ricostruzione*, pronunciato da Amaldi in occasione del Convegno su "Prospettive della Fisica Fondamentale", tenuto all'Istituto di Fisica G. Marconi dell'Università degli Studi di Roma dal 5 al 10 settembre 1978 e pubblicato su *Il Giornale di Fisica*, nel 1979.⁷

2.1 Le ricerche sulla fissione dell'Uranio

Amaldi, ripercorrendo gli studi compiuti durante gli anni della guerra, citò le ricerche eseguite dal 1939 al 1941 sulla dipendenza della sezione d'urto per il processo di fissione, nell'Uranio, dall'energia del neutrone incidente, in un intervallo di energie (da pochi MeV a circa 12-14 MeV) per le quali la fissione è attribuita essenzialmente all' ^{238}U . Queste ricerche sono riportate in due articoli pubblicati su *La Ricerca scientifica* nel 1940 e in uno, del 1941, su *Physical Review*.⁸

I neutroni venivano prodotti bombardando con deutoni, accelerati utilizzando l'acceleratore elettrostatico di tipo Cockcroft-Walton a 1100 kV dell'Istituto di Sanità Pubblica appena completato, bersagli di D, Li, Be, B, C. Per osservare la scissione era utilizzato una camera di ionizzazione a elettrodi piani e paralleli in forma di dischi di 5 cm di diametro; uno di questi era connesso alla griglia della prima valvola di un amplificatore proporzionale, mentre il secondo, mantenuto ad un potenziale costante di 3800 volt a mezzo di un sistema stabilizzato, aveva la superficie interamente coperta da uno strato spesso di U_3O_8 . In questi esperimenti veniva dimostrato che la sezione d'urto per il fenomeno della fissione rimaneva praticamente costante per energie del neutrone incidente da circa 1 MeV fino a quasi 10 MeV, ma aumentava considerevolmente per energie ancora più alte dei neutroni, ottenuti dal bombardamento di Litio con deutoni.

2.2 L'interpretazione dei risultati degli esperimenti

Dopo la prima fondamentale intuizione di O. Frische L. Meitner (1939), la teoria della fissione era stata sviluppata da N. Bohr e da J. A. Wheeler (1939). Il nucleo viene descritto da questi autori come una goccia di un liquido con la carica elettrica distribuita uniformemente. Per effetto dell'urto con il neutrone questa incomincia a vibrare in uno dei suoi

modi vibrazionali di deformazione. La fissione avviene quando la deformazione è tale che la repulsione coulombiana fra le parti lontane prevale sulle forze di coesione della goccia a più breve raggio d'azione.

Dall'analisi della raccolta epistolare pubblicata nel testo curato da G. Battimelli e M. De Maria, *Da via Panisperna all'America*, emerge che fra l'aprile del 1940 ed il luglio del 1941 avvenne uno scambio fruttuoso fra Amaldi e Bohr per l'interpretazione dei risultati sperimentali conseguiti dal gruppo romano sulla fissione dei nuclei pesanti.⁹

In una nota pubblicata sulla rivista *Physycal Review* nel novembre del 1940, che cita anche il lavoro di Amaldi e dei suoi collaboratori, Bohr spiega che il processo ha luogo in due fasi: nella prima vi è l'assorbimento del neutrone nel nucleo di ^{238}U ; vi è poi essenzialmente una competizione fra due processi, l'emissione di un neutrone dal nucleo così composto di ^{239}U e la sua fissione.

Per energie del neutrone incidente comprese fra 1 e 10 MeV, essendo il rapporto fra le probabilità dei due processi pressoché costante, la sezione d'urto non cambia.

Se, però, l'energia del neutrone incidente è superiore a 10 MeV, c'è una considerevole probabilità che il nucleo residuo dopo la perdita del neutrone avrà un'eccitazione sufficiente alla fissione. Per di più, in questo caso l'evenienza della fissione è particolarmente favorita dal momento che con ^{238}U abbiamo a che fare con un nucleo di carica e numero di massa pari per il quale, proprio come nel nucleo composto ^{236}U formato dall'impatto del neutrone sull'isotopo raro dell'Uranio ^{235}U , l'energia critica per la fissione è alquanto più bassa dell'energia di legame di un neutrone.¹⁰

2.3 La decisione di abbandonare le ricerche

Così Amaldi continua il suo resoconto su *Il Giornale di Fisica*. Questo tema

avevamo però deciso di abbandonare dopo l'entrata in guerra dell'Italia e il mio ritorno da sei mesi sul fronte dell'Africa settentrionale. Ageno, Cacciapuoti, Bocciarelli, Trabacchi ed io temevamo che l'essere esperti attivi e riconosciuti su questo argomento ci potesse esporre all'invito o alla costrizione a lavorare, per le potenze dell'Asse, allo sviluppo di applicazioni militari della fissione. La decisione fu presa dopo ampia discussione a cui parteciparono anche Bernardini, Ferretti e Wick.¹¹

Ulteriori dettagli si ritrovano in un manoscritto notevole di Amaldi, conservato presso l'Archivio dello scienziato presso l'Università "La Sapienza" di Roma e pubblicato nel volume sopra citato, *Da via Panisperna all'America*. Qui si legge che

era chiaro che la scoperta della fissione aveva aperto la possibilità ad importanti applicazioni non solo energetiche, ma anche militari.¹²

Amaldi sottolinea, infatti, che la possibilità di innescare reazioni a catena, liberando così enormi quantità di energia, era stata ampiamente descritta sulla stampa scientifica internazionale, in alcuni articoli del francese Frédéric Joliot e dei suoi collaboratori, lavori che erano stati ripresi in articoli di rassegna, come quello di Flugge del 1939 e quello di Turner del 1940.¹³

Era anche chiaro che in molti paesi come la Francia, la Germania, l'Inghilterra, l'URSS e gli Stati Uniti era in corso uno sforzo assai notevole per esplorare la possibilità di realizzare tali applicazioni.¹⁴

Durante il suo viaggio in USA, Amaldi si era accorto della cautela con la quale i problemi relativi alla fissione erano stati toccati in molte delle conversazioni che aveva avuto con i suoi vecchi amici. Questo aveva avvalorato la convinzione che le conoscenze in que-

sta direzione procedessero abbastanza velocemente. Al suo ritorno in Italia, aveva anche deciso, di lavorare sull'isotopo 238 dell'Uranio anziché sull' U^{235} o altri nuclei con un numero pari di protoni e dispari di neutroni che erano al centro degli studi degli scienziati sia negli Stati Uniti che in Europa per le loro possibili applicazioni energetiche. Si era reso conto, però, che qualsiasi tipo di lavoro in questo campo poteva essere utilizzato per la costruzione delle armi atomiche. Mentre le armate di Hitler avanzavano in tutta Europa,

Sapevamo che non pochi fisici tedeschi si erano già messi per questa via [cioè a fare ricerche sulle possibili applicazioni militari della fissione] e noi non volevamo agire parallelamente, e tanto meno unirci a loro.

Per di più, nel 1940 le autorità militari reputavano che la guerra sarebbe stata così breve che non valeva la pena di preoccuparsi di problemi che avrebbero dato risultati solo a lungo termine, invece nell'inverno 1940-41 questa illusione era svanita

e non si poteva escludere che a qualcuno venisse in mente di utilizzarci come esperti in problemi nucleari. Decidemmo quindi di abbandonare le ricerche sulla fissione, scrivemmo un lavoro conclusivo sui risultati delle misure di sezione d'urto fatte fino ad allora e lo spedimmo alla *Physical Review*.¹⁵

Lo scambio di corrispondenza fra Amaldi e Bohr sopra citato testimonia che le ricerche sulla fissione sono proseguite a Roma soltanto fino ai primi mesi del 1941.

2.4 Uno spunto di riflessione

Edoardo Amaldi non ha partecipato in alcun modo allo sviluppo delle armi atomiche né a programmi scientifici militari. Soltanto per aver preso parte alle ricerche che avrebbero consentito di liberare l'enorme energia immagazzinata nei nuclei, sentì, dopo Hiroshima, un forte senso di responsabilità per quello che era stato fatto. Nel manoscritto conservato presso l'Archivio Amaldi già citato, lo scienziato descrisse i sentimenti di grave afflizione con i quali aveva ricevuto la notizia dell'impiego delle bombe:

Anche per gli scienziati rimasti in Italia durante la guerra e che non avevano partecipato quindi alla costruzione di armi atomiche, i giorni in cui furono sganciate le prime due bombe atomiche sulle città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki furono giorni di profonda costernazione. Era terribile constatare che un lavoro intrapreso con finalità strettamente scientifiche ed eventualmente in vista di applicazioni esclusivamente benefiche avesse portato a mezzi di distruzione di una simile portata.

Nonostante le sue scelte lo avessero condotto ad abbandonare questo campo di studi, mai Edoardo usò parole di condanna per quegli scienziati che avevano preso parte al progetto Manhattan.

... Le condizioni di guerra che dominavano il mondo a partire dal 1° settembre 1939 hanno spinto scienziati per loro natura estremamente pacifici a mettersi a lavorare nelle applicazioni belliche dell'energia nucleare.¹⁶

In un'intervista rilasciata a C. Weiner nel 1969 Amaldi espresse, nei confronti di Fermi, semplicemente una valutazione di estrema lealtà per gli Stati Uniti d'America, ribadendo, però, il proprio rifiuto per tutte le ricerche nelle scienze fisiche assoggettate al segreto militare.¹⁷ Nel manoscritto sopra citato troviamo ancora:

Non era facile, anzi era impossibile, agli inizi stabilire se un fisico si sarebbe assunto responsabilità maggiori accettando oppure rifiutando di collaborare. Un fisico negli Stati Uniti poteva rifiutare di collaborare sapendo che i nazisti avrebbero potuto conquistare il mondo proprio servendosi di quest'arma?¹⁸

Conclusioni

Di fronte al pericolo che le sue ricerche sulla fissione dell'Uranio potessero essere utilizzate per scopi di distruzione e di morte, Edoardo Amaldi, coinvolgendo la comunità scientifica che insieme con lui aveva intrapreso tale lavoro, decise di abbandonare questi studi e rivolgere la sua attenzione ad altri campi di indagine.

Scelte come queste indicano una direzione da seguire.

Mi vengono in mente le parole che Giovanni Paolo II pronunciò il 12 novembre 1983 ai Membri dell'Accademia Pontificia delle Scienze:

Lo scienziato può usare della sua libertà per scegliere il campo della propria ricerca: quando in una determinata situazione storica è pressoché inevitabile che una certa ricerca scientifica sia usata per scopi aggressivi, egli deve compiere una scelta di campo che cooperi al bene degli uomini, all'edificio della pace.¹⁹

Ringraziamenti

Ringrazio il prof. Spencer Weart, Direttore del *Center for History of Physics*, dell'*American Institute of Physics*, per avermi autorizzato ad utilizzare le interviste rilasciate da Edoardo Amaldi a T. Kuhn e C. Weiner, conservate alla Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, e il prof. Giovanni Battimelli, Referente per le Fonti e i Documenti per la Storia della Fisica del Dipartimento di Fisica dell'Università "La Sapienza di Roma", che mi ha aiutato nella consultazione degli Archivi di Edoardo Amaldi.

Sono grato in modo speciale a S. E. R. Mons. Marcelo Sanchez Sorondo, Cancelliere della Pontificia Accademia delle Scienze, per avermi consentito di consultare l'Archivio dell'Accademia ed in particolare lo scambio epistolare fra E. Amaldi e C. Chagas, Presidente di questa nobile Istituzione dal 1972 al 1988.

Esprimo un particolare ringraziamento al dott. Vincenzo De Luise (Biblioteca "Roberto Stroffolini", Università di Napoli Federico II) per l'aiuto offertomi nella raccolta del materiale.

Bibliografia

Sulla vita e l'opera di Edoardo Amaldi:

- [1] AA. VV. 1990, "Ricordo di Edoardo Amaldi", *Sapere*, 56, 13, p. 19-36.
- [2] E. AMALDI (1998) *20th Century Physics: Essays and Recollections - A Selection of Historical Writings by Edoardo Amaldi*, editors G. Battimelli, G. Paoloni, World Scientific: Singapore.
- [3] P. ANGELA, C. RUBBIA (1992), *Edoardo Amaldi Scienziato e Cittadino d'Europa*, Leonardo Periodici: Milano.
- [4] G. BATTIMELLI (2003) *L'eredità di Fermi*, Editori Riuniti: Roma.
- [5] M. DE MARIA (1999) "Fermi un fisico da via Panisperna all'America", *Le Scienze, i grandi della scienza*, 2, 8.
- [6] L. FERMI (1965) *Atomi in famiglia*, Arnoldo Mondadori Editore: Milano, traduzione a cura dell'autrice dall'originale inglese *Atoms in the family*, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A., 1954, ristampa anastatica della trad. italiana a cura dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica, Supplemento a "La Fisica nella Scuola", 34 (2001), 3.
- [7] Interview with Edoardo Amaldi by T. S. Kuhn, April 8, 1963, Archives for History of Quantum Physics, copy in Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA, <http://www.aip.org/history/ohilist/4484.html>.
- [8] J. KRIGE & M. DE MARIA (2000) "The Pioneers: From Amaldi's 'Euroluna' Vision to the Creation of COPERS" in *A History of the European Space Agency 1958 - 1987. Volume I. The story of ESRO and ELDO. 1958 - 1973* by J. Krige and A. Russo with contributions by M. De Maria and L. Sebesta, European Space Agency, p. 13-39.
- [9] C. RUBBIA (1991) "Edoardo Amaldi. 5 September 1908 - 5 December 1989", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 37, Nov., p. 3-31.
- [10] G. SALVINI (1990), "La vita e l'opera di Edoardo Amaldi", *Atti della Accademia nazionale dei Lincei*, A. 387, ser. 9, vol. 1, p. 7-39.
- [11] E. SEGRÈ (1971) *Enrico Fermi, fisico*, Zanichelli, Bologna, traduzione, con adattamenti, a cura dell'autore dall'originale inglese *Enrico Fermi Physicist*, The University of Chicago, 1970.

Sul rifiuto delle applicazioni militari della Fisica nucleare:

- [12] M. AGENO, E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, B. N. CACCIAPUOTI, G. C. TRABACCHI (1940a) "Sulla scissione degli elementi pesanti", *Ricerca scientifica* 11, Maggio, p. 302-311
- [13] M. AGENO, E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, B. N. CACCIAPUOTI, G. C. TRABACCHI (1940b) "Sulla scissione dell'Uranio con neutroni veloci", *Ricerca scientifica* 11, Giugno, p. 413-417.
- [14] M. AGENO, E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, B. N. CACCIAPUOTI, G. C. TRABACCHI (1941) "Fission Yield by Fast Neutrons", *Physical Review* 60, p. 67-75. July 15, 1941 - Received April 30, 1941.
- [15] E. AMALDI (1979) "Gli anni della ricostruzione", *Giornale di Fisica* 20, 3, p. 186-225.
- [16] E. AMALDI (1982) *Comments after the Weart talk* (p. 315-316, 320-321), S. Weart 1982, "The road to Los Alamos", *Journal De Physique Colloque* C8, supplement au n. 12, Tome 43, décembre 1982, p. 301-321.
- [17] E. AMALDI (1984) "From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission", *Physics Reports* 111, Nos. 1-4, p. 1-332, Elsevier Science Publishers: North-Holland, Amsterdam.
- [18] E. Amaldi (1997) *Da via Panisperna all'America: i fisici italiani e la seconda guerra mondiale*, a cura di G. Battimelli e M. De Maria, Editori Riuniti: Roma.
- [19] N. BOHR (1939) "Disintegration of Heavy Nuclei", *Nature* 143, p. 330.
- [20] N. BOHR, J. A. WHEELER (1939) "The Mechanism of Nuclear Fission", *Physical Review* 56, p. 426-450.
- [21] N. BOHR (1940) "Successive Transformations in Nuclear Fission", *Physical Review* 58, p. 864-866.
- [22] S. FLUGGE (1939) "Kann der Energie inhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?", *Naturwiss.* 27, p. 402-410.
- [23] O. R. FRISCH, L. MEITNER (1939) "Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction", *Nature* 143, p. 239-240, Dated January 16, 1939.
- [24] O. HAHN, F. STRASSMANN (1939) "Über den Nachweissund das Verhalten der bei Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetallen", *Naturwiss.* 27, p. 11-15, Received December 22, 1938.
- [25] H. VON HALBAN, F. JOLIOT, L. KOWARSKI (1939) "Liberation of Neutrons in the Nuclear Explosion of Uranium", *Nature* 143, p. 470-71. Dated March 18, 1939.
- [26] Interview with Edoardo Amaldi by Charles Weiner, April 9, 10, 1969, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA, <http://www.aip.org/history/ohilist/4485.html>.
- [27] F. JOLIOT (1939) "Preuve experimentalde la rupture explosive des noyaux d'uranium et de thorium sous l'action des neutrons", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris)* 208, p. 341-346.
- [28] L.A. TURNER (1940) "Nuclear Fission", *Reviews of Modern Physics* 12, p. 1-29.

Note

- ¹ O.M. CORBINO (1929) *I nuovi compiti della Fisica sperimentale*, Discorso pronunciato alla società Italiana per il *Progresso delle Scienze*, citato in E. Segrè (1971), p. 69.
- ² E. Segrè (1971), p. 63-64.
- ³ La lettera di E. Fermi a A. De Gasperi, datata 27 aprile 1948, è riprodotta in G. Battimelli (2003), p. 161.
- ⁴ *Convention for the Establishment of a European Organization for Nuclear Research*, signed in Paris on 1st July 1953, entered into force on 29 September 1954, amended with effect on 17 January 1971, p. 6, <http://documents.cern.ch/archive/electronic/other/legal/articles/LSL00000014.pdf>.
- ⁵ Lettera di E. Amaldi a P. Auger, 6 febbraio 1959, Archivio Amaldi, Dipartimento di Fisica dell'Università "La Sapienza" di Roma, scatola 212, cartella 6.
- ⁶ Lettera di C. Chagas, Presidente dell'Accademia Pontificia delle Scienze, a E. Amaldi, 26 gennaio 1984, Archivio della Pontificia Accademia delle Scienze.
- ⁷ E. Amaldi (1979).
- ⁸ M. AGENO, E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, B. N. CACCIAPUOTI, G. C. TRABACCHI (1940a; 1940b; 1941).
- ⁹ E. Amaldi a N. Bohr, 22 aprile 1940; N. Bohr a E. Amaldi, 11 maggio 1940; E. Amaldi a N. Bohr, 26 maggio 1940; E. Amaldi e G. C. Wick a N. Bohr, 22 febbraio 1941; N. Bohr a E. Amaldi e G. C. Wick, 18 marzo 1941. in E. Amaldi (1997), p. 129-135, 138-141.
- ¹⁰ N. Bohr (1940), p. 865.
- ¹¹ E. Amaldi (1979), p. 199.
- ¹² E. Amaldi (1997), p. 89.
- ¹³ F. Joliot (1939), H. von Halban, F. Joliot, L. Kowarski (1939), S. Flugge (1939), L. A. Turner (1940).
- ¹⁴ E. Amaldi (1997), p. 89.
- ¹⁵ E. Amaldi (1997), p. 90-91.
- ¹⁶ E. Amaldi (1997), p. 98.
- ¹⁷ Interview with Edoardo Amaldi by Charles Weiner, April 9, 10, 1969, Niels Bohr Library & Archives, AIP.
- ¹⁸ Amaldi (1997), p. 98.
- ¹⁹ *Discorso di Giovanni Paolo II ai Membri della Pontificia Accademia delle Scienze riuniti in Assemblea Plenaria per discutere il tema: la scienza a servizio della pace*, 12 novembre 1983, n. 5 http://www.vatican.va/holy_father/john_paul_ii/speeches/1983/november/documents/hf_jp-ii_spe_19831112_pont-accademia-scienze_it.html

Michele D'Anna

Liceo Cantonale, Locarno (Svizzera)

Concezioni inadatte per l'insegnamento della fisica

Questo breve intervento è dedicato alla presentazione della traduzione italiana, realizzata a cura di C. Agnes, di una raccolta di contributi proposti da F. Herrmann e G. Job e apparsi sull'arco degli ultimi anni nella rivista di didattica *Praxis der Naturwissenschaften - Physik*, nella rubrica *Altlasten der Physik* [1]. Quest'ultimo termine allude ad approcci, pratiche e soluzioni didattiche che, secondo gli autori, pur essendo comprensibili dal punto di vista dello sviluppo storico disciplinare, oggi costituiscono dei "residuati fossili", dei veri e propri ostacoli all'apprendimento della fisica, delle *concezioni inadatte all'insegnamento della fisica* [2].

Una delle constatazioni che stanno alla base dello sforzo di riflessione e di chiarificazione disciplinare intrapreso dagli autori è che l'insegnamento tradizionale contiene difficoltà e complicazioni assolutamente non necessarie. In altre parole: è facile osservare come molti dei misconcetti degli studenti derivano direttamente da misconcetti presenti nell'insegnamento consolidato della fisica.

La didattica della fisica è infatti connotata da un processo essenzialmente di accumulo e di compressione dei temi man mano che nuovi apporti disciplinari si impongono all'attenzione, piuttosto che dall'integrazione di questi ultimi nell'impianto precedente, ciò che porterebbe a una progressiva trasformazione dell'impianto stesso attraverso una vera e propria ristrutturazione disciplinare (v. schema).

Riguardo alle cause che hanno portato a questa situazione, gli autori ricordano, nella loro introduzione, che lo sviluppo della conoscenza scientifica può essere paragonato all'evoluzione dei sistemi biologici. Proprio come lo sviluppo di un organismo riflette l'evoluzione dell'intera sua specie, così la struttura della conoscenza scientifica attuale riflette in modo abbastanza accurato il proprio sviluppo storico. Questa affermazione ci ricorda la famosa teoria della ricapitolazione, ben nota ad ogni studente di biologia, secondo la quale "l'ontogenesi è una ricapitolazione della filoge-

