

Tito M. Tonietti<sup>1</sup>

## 25 d.C.

### *Ritmi di decadimento e ritmi di decadenza* (Il fattore tempo)<sup>2</sup>

“Non fosse che per caso i tempi di dimezzamento dell’ $U^{235}$ ,  $U^{238}$  e del  $Th^{232}$  sono quelli che sono, non ci sarebbero in natura nuclei con  $Z$  maggiore di 82 (dunque nessuna bomba atomica!)”<sup>3</sup>  $Z$  è il numero atomico il quale vale 1 per l’idrogeno, 8 per l’ossigeno, 82 per il piombo, 92 per l’uranio, 94 per il plutonio.  $U^{235}$  indica l’isotopo dell’uranio che ha massa  $A = 235$ . .... Tuttavia questa configurazione non è stabile perché vicino ad essa ne esistono altre di energia minore. Dunque, passo dopo passo perdendo energia, l’ $U^{235}$  si trasforma subendo il decadimento radioattivo naturale. Il nucleo si disintegra spontaneamente emettendo particelle  $\alpha$  (2 protoni e 2 neutroni), particelle  $\beta$  (elettroni) e raggi  $\gamma$ . I nuclei seguitano ad emettere radiazioni finché non raggiungono uno stato per modificare ulteriormente il quale bisognerebbe al contrario fornirgli energia. Allora la storia finisce qui. Partendo dallo  ${}_{92}U^{235}$  si arriva al  ${}_{82}Pb^{207}$ . Il fenomeno, scoperto nel 1896 da Henri Becquerel (1852-1908), fu battezzato radioattività da Marie Sklodowska-Curie (1867-1934) e da Pierre Curie (1859-1906), i quali isolarono nel 1898 il polonio e nel 1902 il radio.

La caratteristica di un elemento radioattivo è quindi quella di modificare nel tempo sia la sua natura chimica, cambiando di posto nella

---

<sup>1</sup>Dipartimento di matematica - Università di Pisa. tonietti@dm.unipi.it

<sup>2</sup>Testo preparato per l’intervento tenuto a Carovigno, durante un convegno sulle centrali termonucleari, il 10 settembre 1985 [1 a.C., cioè un anno prima dell’era Cernobyl]. Edizione del 2005 per: Pisa città della pace, 23 aprile, La leopolda. Rivisto, nel 2011 [25 d.C.] l’anno di Fukushima, per le lezioni di Storia della scienza a.a. 2011-2012.

<sup>3</sup>Halliday 1966, p. 63.

tavola di Mendelejev, sia la sua massa. Sommando insieme le masse dei prodotti di decadimento con le particelle  $\alpha, \beta$  emesse si ottiene una massa minore di quella iniziale. Il difetto di massa si è trasformato in energia secondo la famosa legge di Einstein, contenuta nei celebri articoli sulla relatività.

$$E = c^2(m_i - m_f)$$

Avendo  $c$  la velocità della luce  $3 \times 10^{10}$  cm/sec un valore molto grande, basta una piccola differenza di massa per generare una grande quantità di energia.

Dunque un elemento radioattivo come l' $U^{235}$  decade nel tempo. Qual'è il suo ritmo di decadimento? Si osservò che ogni atomo si disintegrava singolarmente e che non c'era modo di stabilire quando ciò sarebbe successo, né tanto meno di influenzarne il processo. L'unica formula possibile rimane allora di tipo probabilistico.<sup>4</sup> Essa afferma: tanto maggiore è il numero di atomi presente e tanto maggiore è il tempo in cui si aspetta allora tanto più grande sarà la probabilità che uno di essi decada. Se si indica con  $N$  il numero di atomi presenti in un dato tempo  $t$ , si ricava per il ritmo di diminuzione:

$$N - N_0 = -\lambda N(t - t_0)$$

$\lambda$  è un numero positivo che si chiama la costante di decadimento e che dipende dal tipo di atomo considerato. Riscritta col calcolo differenziale come

$$dN = -\lambda N dt$$

si ottiene subito la formula esponenziale che stabilisce la dipendenza di  $N$  dal tempo  $t$ .

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

---

<sup>4</sup>La teoria comunemente usata per questi fenomeni è la Meccanica quantistica, inventata durante il primo quarto del secolo scorso. Forman 2002.

Dunque il ritmo di decadimento è un ritmo esponenziale. Dopo un tempo  $t = \frac{1}{\lambda}$ , detto vita media, il numero di atomi si è ridotto di  $e^{-1}$ .  $\lambda$  non dipende dal tempo, cioè il ritmo di decadimento contiene la variabile tempo solo esplicitamente all'esponenziale. Come dire che la probabilità di un atomo di morire dopo un certo tempo non dipende dalla sua età. Al contrario per molte specie viventi, compresi noi bipedi implumi, la probabilità di morire ad una certa età dipende anche dall'età stessa insieme ad altri fattori.

Ponendo  $N = \frac{N_0}{2}$  nella formula precedente si ricava dopo quanto tempo  $T$  una data quantità di un elemento radioattivo si riduce alla metà.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

Quindi  $T$  è il rapporto tra il logaritmo in base  $e$  di  $\frac{1}{2}$  e  $\lambda$ :  $T = \frac{0,693}{\lambda}$ .  $T$  si chiama il tempo di dimezzamento. Poiché  $(\frac{1}{2})^{10}$  vale circa  $\frac{1}{1.000}$ , dopo  $10T$  della sostanza di partenza è rimasto soltanto un millesimo.

Misurato in secondi, il tempo di dimezzamento dell' $U^{235}$  vale  $0,225 \cdot 10^{17}$  che equivale a  $7 \times 10^8$  anni. L' $U^{238}$  ha un tempo di dimezzamento di  $0,442 \times 10^{18}$  sec, circa  $4,5 \times 10^9$  anni ed il  $Th^{232}$  di  $0,445 \times 10^{18}$  sec, circa  $1,4 \times 10^{10}$  anni. Queste cifre sono dello stesso ordine di grandezza o più grandi di quella dell'età della terra e dell'universo. Ecco perché nella crosta terrestre esistono ancora giacimenti di uranio. Fosse stata la terra più vecchia od il tempo di dimezzamento dell'uranio più breve, Enrico Fermi (Roma 1901-Chicago 1954) non avrebbe potuto costruire il primo reattore nel 1942, né nel 1945 la prima bomba atomica. E noi non saremmo qui a discutere di energia nucleare. Infatti, tutto l'uranio avrebbe avuto tempo di decadere in stabile e volgarissimo piombo. Per tal ragione non si trovano più elementi radioattivi molto pesanti nella crosta terrestre e possono venir costruiti soltanto in laboratorio, dove il loro tempo di dimezzamento si rivela anche solo di qualche millesimo di secondo. L'ultimo elemento stabile è il  ${}_{83}Bi^{209}$ , quelli di numero

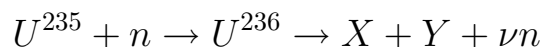
atomico superiore decadono tutti. Hanno ritmo di decadimento più lento il  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$  ( $0,5 \times 10^{11}$ ), i già citati Th,  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ , insieme al Np, Pu, Cur.

Dunque il fattore tempo entra fin dall'inizio nel nostro argomento e ne tocca subito la radice stessa. I numerosi problemi che circondano l'utilizzazione dell'energia proveniente dal nucleo sono stati affrontati da punti vista diversi: la fattibilità tecnologica, il fabbisogno di energia, i costi economici, l'impatto ambientale, la salute, le decisioni politiche, gli interessi costituiti civili e militari. Qui cercherò di arrivare alle mie conclusioni usando come criterio di analisi i diversi ritmi di evoluzione temporale che la nostra complessa materia comporta. Seguendo questo cammino -che a quanto mi risulta è nuovo- arriverò anch'io a fare quelle scelte che ogni indagine anche la più scientifica e neutrale comporta.

Di fronte all'età dell'universo ed ai tempi di dimezzamento dell'uranio, sta subito un altro tempo chiave per la nostra storia: la nostra specie biologica ha una sua vita media che vale circa 70 anni, cioè  $221 \cdot 10^7$  sec. Definendo come vita media di un elemento radioattivo il tempo necessario per far decadere praticamente tutti gli atomi, dalle formule precedenti si ricava che la vita media  $\tau$  è l'inverso della costante di decadimento  $\lambda$  e dunque la sua relazione con il tempo di dimezzamento diventa  $\tau = T \frac{10}{7}$  circa. Diventa utile ed istruttivo un confronto numerico tra la nostra vita media e  $\tau$  perché ci permette di misurare la diversità sostanziale tra mondo della vita e gli elementi radioattivi.

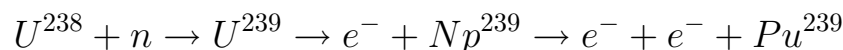
La vita media dell' $U^{235}$  vale allora  $10^9$  anni e dividendo per la nostra vita media 70 anni presa come unità di misura si ottiene  $1,43 \times 10^7$ , qualcosa come 14 milioni. Per l' $U^{238}$  il numero sale addirittura a 90 milioni!

Nel 1939, alla Kaiser-Wilhelm Gesellschaft di Berlino, Otto Hahn, Lise Meitner e Fritz Strassmann facevano vedere che irraggiando composti di uranio con neutroni lenti si formavano elementi di numero atomico più basso. Era la prova della fissione nucleare dell' $U^{235}$  (il quale subisce persino una fissione nucleare spontanea). Esso assorbe infatti un neutrone lento, diventa quindi  $U^{236}$  che si spacca in due secondo la reazione



Gli elementi X ed Y possono essere di vario tipo, ma la probabilità maggiore è che abbiano numero di massa 96 e 140. Essi hanno troppi neutroni per essere isotopi stabili ed emettono subito in circa  $10^{-13}$  sec a loro volta altri neutroni ( $\nu$  vale circa 2,5 per ogni fissione). Questi a loro volta, quando rallentati da acqua pesante, grafite, paraffina, sono catturati da altri nuclei di  $U^{235}$  i quali subiscono la stessa sorte dei primi e così via. Tuttavia perché questa reazione a catena si inneschi bisogna che i neutroni trovino un numero sufficiente di nuclei di uranio  $U^{235}$ . Ma il minerale di uranio contiene in grandissima parte piuttosto  $U^{238}$ , il quale non è fissile e soltanto lo 0,72 di  $U^{235}$ . Quindi bisogna aumentare la concentrazione di quest'ultimo. Fino a pochi % si ottiene la pila atomica (costruita da Fermi a Chicago nel 1942) oltre il 90% si ha la bomba atomica (costruita a Los Alamos nel 1945). Quella sganciata su Hiroshima era fatta proprio di  $U^{235}$ .

Anche se l' $U^{238}$  non è fissile, durante la reazione a catena, persino esso assorbe neutroni purtroppo e diventa  $U^{239}$  il quale segue questo destino:



Cioè, l'isotopo 239 dell'uranio emettendo un elettrone guadagna un protone e passa a  $Z = 93$  che è il numero atomico del nettunio, in una vita media di  $0,2 \times 10^4$  sec, cioè 32 minuti. A sua volta, il nettunio decade emettendo un altro elettrone e si arriva così allo  $Z = 94$  del plutonio, con una vita media di  $0,3 \times 10^6$  sec, circa 32 giorni. Il plutonio 239 ha la malaugurata proprietà di essere anche lui fissile, come l'uranio 235. Dunque, nelle scorie delle centrali termonucleari si trova sempre plutonio 239, il quale può venir recuperato o per quei tipi di reattori chiamati autofertilizzanti, oppure per fabbricare un altro tipo di bombe atomiche. Infatti quella di prova fatta esplodere a Los Alamos, come quella sganciata su Nagasaki erano al plutonio. Tra gli altri, questo

elemento ha persino il difetto di avere una vita media di 34.800 anni, cioè 497 volte più lunga di quella nostra.

Neanche l'alchimista più vicino al diavolo poteva immaginarsi la quantità di trasmutazioni di un elemento in un altro la quale avviene in un reattore nucleare. I prodotti della fissione primaria si distribuiscono in una novantina di tipi, tutti instabili che quindi decadono in altri. Tra di essi, si trovano il kripton, lo stronzio, il rubidio, lo iodio, lo xenon ed il cesio. La grande quantità di sporcizia può includere più di 250 radionuclidi. Ho scritto sporcizia sia perché non è più utile per produrre energia se non dopo il ritrattamento che recupera il plutonio, sia soprattutto perché è pericolosamente radioattiva e non si sa cosa farne ne dove metterla. L'unico posto veramente sicuro sarebbe rispedirla nel Sole dal quale tutto proviene: dare al Sole quello che è del Sole, non solo a Cesare quel che è di Cesare ed a Dio quello che è di Dio.<sup>5</sup> Nonostante il lavoro fatto per scopi militari, non credo che si conoscano tutti i differenti radionuclidi e le catene di decadimento relative. Servirebbe a preoccuparci ancor di più per la nostra salute. Faccio solo qualche esempio. Alcune hanno ritmi di decadimento di qualche ora (il kripton nel nobelio), altre di giorni (lo xenon nel cerio), o di anni (il neodimio nel samario). Una catena contiene il tecnezio, il quale gode di una vita media di  $3 \times 10^5$  anni, cioè 4.000 volte la vita media umana.

Persino se non avvengono rilasci in atmosfera e nelle acque di raffreddamento, durante il ciclo normale di funzionamento di una centrale termonucleare vengono sempre prodotti scarichi sotto forma di effluenti liquidi e gassosi. Negli effluenti gassosi si trovano gli isotopi radioattivi di elementi come l'azoto, l'argon, il kripton, lo xeno, il rubidio, l'idrogeno, lo iodio. La loro vita media viene riportata nella tabella finale. Ad esempio, la vita media dello iodio è 330.000 volte più lunga della vita media umana. Negli effluenti liquidi si trovano gli isotopi radioattivi di elementi come l'idrogeno, il cobalto, lo stronzio, lo iodio, il cesio. Du-

---

<sup>5</sup>Con tutti i diversi missili che ci affliggono, vettori adatti a riportare le scorie nucleari sul Sole non mancherebbero e sarebbe possibile farlo con poche difficoltà. Tuttavia, per quanto relativamente sicura, la procedura sarebbe particolarmente costosa. Tale spesa verrebbe a gravare sul costo del kwh nucleare e lo porrebbe facilmente fuori mercato. Tutti i processi industriali comportano rifiuti da ritrattare. Il costo relativo entra da tempo nel prezzo finale del prodotto. Perché questo non viene calcolato *bene* per il kwh nucleare? Dunque è proprio un imbroglio asserire che il kwh nucleare sarebbe meno costoso degli altri.

rante il ciclo di ritrattamento del combustibile, si trova tra gli effluenti liquidi anche il rutenio 106 il quale ha una vita media di circa 1,4 anni.

Può poi avvenire anche un incidente come la perdita di liquido refrigerante o moderante, detto LOCA, o la rottura del recipiente che contiene la reazione a catena, detto *vessel*, o qualcosa di peggio per i reattori autofertilizzanti al plutonio. Allora, non solo aumentano le percentuali dei radionuclidi precedenti, ma saremo esposti a tutta la sporcizia presente nel reattore in funzione e nelle scorie. Essa contiene quasi tutto ciò che può esistere di radioattivo sulla terra e che era scomparso durante milioni di anni finché qualche bipede implume non ha cominciato incoscientemente a giocarci senza valutarne bene le conseguenze.

Così si trovano anche isotopi radioattivi di elementi i quali si fissano particolarmente bene nell'ambiente marino e nella catena alimentare come il carbonio, lo zinco, il fosforo, il ferro, il piombo, il cerio. Ci si trova inoltre una buona dose di plutonio in vari isotopi. E si potrebbe continuare ad elencare l'americio 241 coi suoi modesti 654 anni od il curio 242 con soli 233 giorni. Poiché questi radionuclidi si trovano nelle scorie, basta anche un incidente durante la ricarica od il trasporto verso l'impianto di ritrattamento per farli passare nell'ambiente.

Da quando la prima reazione a catena fu ottenuta a Chicago dal gruppo di Fermi il 2 dicembre 1942 sono passati 43 anni (62 nel 2005, 68 nel 2011<sup>6</sup>), cioè dal primo reattore nucleare costruito. Da allora molti altri reattori sono entrati in funzione. All'inizio servivano per costruire le bombe atomiche del progetto Manhattan. Il primo reattore ad acqua pressurizzata progettato per produrre energia elettrica iniziò a funzionare il 31 maggio 1953. Era il prototipo di un reattore progettato per fornire energia elettrica al sommergibile Nautilus, il quale iniziò le prove in mare nel 1955. Sono passati 30 anni. (Nel 2005 potremmo festeggiarne il cinquantenario, chissà se i giornali e la televisione ne parleranno.)

Tuttavia il primo reattore progettato per l'energia elettrica era un autofertilizzante. Veniva terminato nell'agosto del 1951 ad Arco nello

---

<sup>6</sup>L'anno di Fukushima. Dopo questo del Giappone, la probabilità indica la Francia come luogo del prossimo incidente grave.

stato dello Idaho, presso lo Argonne National Laboratory con la sigla Experimental Breeder Reactor EBRI. Il 20 dicembre arrivava a produrre 100 watt. La prima centrale termonucleare ad acqua pressurizzata di dimensioni accettabili fu costruita a Shippingport in Pennsylvania e veniva terminata alla fine del 1957. Aveva una potenza di 100MW. Negli anni sessanta (del secolo scorso) questo tipo di centrale si diffondeva un poco dovunque. Negli anni settanta, si arrivava ad una potenza di 1000 MW. Da un impianto ad acqua bollente, la prima energia elettrica usciva nel giugno del 1955. La prima centrale termonucleare privata è di questo tipo. Veniva terminata nel 1960 vicino a Chicago, la Dresden Nuclear Power Station della Commonwealth Edison Company.

Dopo circa 25-30 anni, la tecnologia relativa può dirsi matura. (Oggi nel 2005 dopo 50 a me sembra decisamente ‘marcia’).<sup>7</sup> Ci vogliono circa 10 anni per costruirne una nuova, ma una volta entrata in funzione andrebbe chiusa dopo 20 anni perché, a cominciare dal *vessel*, il bombardamento continuo di neutroni ne compromette inevitabilmente il funzionamento. Poiché anche da spente rimangono come si è visto radioattive, non si sa ancora bene cosa farne. Non producono più, ma richiedono ancora una manutenzione costosa che pesa persino in Italia sul costo del Kwh. La proposta più originale mi sembra quella dei francesi per la vecchia centrale di Chinon. Si tratta di un posto incantevole lungo la valle della Loira, ricco di vigne e patria di Rabelais. Pensarla come un museo da far visitare ed inserire nell’itinerario dei celebri castelli: “Castelli e centrali nucleari della Loira”.

Nel 1967, si prevedeva che le riserve utilizzabili di uranio 235 sarebbero durate circa 100 anni, ma se gli altri paesi avessero assunto un ritmo di crescita come gli Stati Uniti d’America, il tempo sarebbe sceso a 20 anni. Non si teneva però conto delle miniere cinesi e sovietiche. Nel settembre del 1977, davanti alla sottocommissione per l’energia della Camera dei rappresentanti degli Stati Uniti d’America, Amory Lovins sosteneva: “L’energia nucleare è morta. Erano passati solo 35 anni dalla pila atomica di Fermi e solo una ventina dai primi modelli commerciali di centrali. Oggi non si può parlare che di decadenza di tale

---

<sup>7</sup>Dopo Fukushima del 2011, l’unico termine che mi viene in mente è ‘tecnologia delittuosa’ perché giustificata soltanto dall’uso per la costruzione delle bombe nucleari.



modo per produrre energia elettrica. Si stanno modificando le curve dei consumi, aumentano gli standard di sicurezza e quindi il costo del kwh nucleare cresce.

Durante i convegni ed i dibattiti sull'energia nucleare c'è sempre qualcuno che dà doverosamente i numeri: tanti Tep, tanti kwh, tanti Rem,<sup>8</sup> tanti miliardi. Come vedete non è poi tanto difficile elencare numeri. Ben più complesso giustificarli. Ogni numero presuppone infatti un contesto qualitativo nel quale soltanto esso acquista il proprio senso. Su questo concludo.

Ho calcolato tante scale di tempi. Alcune sono dell'ordine degli anni e delle decine d'anni. Questi tempi di evoluzione sono confrontabili con le poche decine di anni che compongono la nostra vita. Ciò significa che i processi relativi rimangono sotto il nostro controllo, nel bene e nel male, nel senso che un errore in essi può se necessario venir cancellato dal ritmo stesso di evoluzione. Gli avvenimenti politici, economici, sociali sono di questo tipo, come anche i fatti che scandiscono le nostre esistenze personali di individui. Ognuno possiede il proprio ritmo di nascita, crescita, decadenza, invecchiamento e morte. Tali ritmi possono anche diventare incommensurabili, ma in ogni caso la scala temporale resta confrontabile.

Coloro che durante la Seconda guerra mondiale si sono mossi per sviluppare le conoscenze scientifiche e le tecnologie adatte a ricavare l'energia dal nucleo hanno seguito un ritmo confrontabile ancora per quanto paradossalmente con i ritmi di vita e di morte della specie. Tuttavia, le loro scelte hanno rimesso in gioco ritmi di decadimenti i quali superano la nostra vita media di 1.000, 100.000 un milione di volte. Ciò scappa completamente fuori dal nostro controllo e ricrea un contesto che non può essere adatto all'evoluzione della vita terrestre.

Norbert Wiener è stato lo studioso al quale si debbono le maggiori invenzioni riguardo le relazioni tra i processi organici e le macchine. Egli sosteneva che bisogna sempre partire dalla scala dei tempi seguita dagli organismi viventi. Quella delle macchine deve venir scelta poi in modo da essere adatta ai tempi degli organismi coi quali esse interagiscono.

---

<sup>8</sup>Oggi si adopera il Sievert = 100Rem. Con qualche Sievert assorbito si muore. È l'ordine di grandezza dovuto anche a Fukushima.

Altrimenti le macchine si rivelano dannose all'organismo. Le parti di una casa, i mobili in essa contenuti, l'edificio stesso invecchiano e decadono. Quanto non piace più, quanto non ci serve più può venir gettato via e sostituito. I ritmi di decadenza di una casa sono confrontabili in genere con quelli umani. I nuovi abitanti possono scegliersi l'ambiente nel quale vivere. Al limite, possono distruggere l'edificio e farsene uno nuovo. La decadenza permette il rinnovamento. Ma supponiamo che in esso esista un oggetto il quale segue un suo ritmo di decadenza tutto diverso: se troppo breve non potrà mai essere usato, se troppo lungo incomberà ed ingombrerà con la sua presenza. Sarà lui a determinare l'ambiente; gli abitanti non potranno farci niente, se non andandosene, ma i nuovi se lo ritroveranno davanti inesorabile come un fantasma del castello.

Oggi da questa terra non è però possibile andarsene. L'interesse a costruire le centrali termoelettriche fu sviluppato in altri tempi, in altri luoghi e per scopi moralmente ignobili come la guerra. È ripreso in Italia di recente e sempre per ragioni assai discutibili. Facciamo che tale interesse, il quale negli Stati Uniti d'America è diminuito notevolmente, decada del tutto anche qui insieme alle persone le quali vorrebbero decidere per noi.

*Nota storica sull'origine dell'idea.*

Alla fine del 1916, il professor Tito Alippi scriveva per *La Domenica del Corriere* l'articolo intitolato "La guerra ed il progresso scientifico".<sup>9</sup> Per iniziare, il naturalista concedeva che la guerra affrettasse e perfezionasse "nuove conquiste". Ma poi subito aggiungeva: "... una guerra futura potrebbe purtroppo sfruttare altri progressi della scienza, maturati nella pace, e finora a noi ignoti senza rinunciare naturalmente a nessuno dei mezzi precedenti. Già l'attuale guerra ci ha insegnato come l'uomo sappia valersi di ogni scoperta scientifica per nuocere al suo simile, combattente o no, che gli sia nemico, e come non disdegni l'uso di antichi arnesi di morte e di distruzione, accanto ai gas asfissianti, agli alti esplosivi, alla diffusione dei bacilli patogeni."

Quali nuove armi si sarebbero usate entro "... dieci, venti, cent'anni? ... Oggi ancora, per buona fortuna, l'uomo non sa sfruttare un'enorme quantità di energia, rispetto a cui quella racchiusa nei più formidabili esplosivi è cosa da nulla. ... Alludiamo all'energia dei corpi radioattivi, o, per dir meglio, a quella contenuta nell'atomo materiale. Lo sfacelo della molecola della nitroglicerina rappresenta una potenza meccanica colossale; ma è nulla in confronto allo sfacelo, alla disintegrazione dell'atomo ... se fosse possibile."

Dopo averci spiegato la fisica della radioattività e come l'energia in gioco fosse milioni di volte superiore a quella degli esplosivi abituali, Alippi continuava. "Se il radio potesse liberare tutta la sua energia latente colla stessa velocità del cotone fulminante, noi assisteremmo ad una esplosione di una potenza non immaginabile. ... se tutti gli elementi, che noi consideriamo stabili e permanenti, fossero atti a degradarsi con svolgimento dell'interna energia atomica e noi trovassimo modo di facilitare ed accelerare questo processo, un qualunque minimo pezzetto di sostanza rappresenterebbe una miniera di carbone a nostra disposizione. Che questo non sia impossibile, appare verosimile oggi dopo la scoperta della *radioattività* ed alla luce delle moderne teorie, ...".<sup>10</sup>

<sup>9</sup>La Domenica del Corriere 1916, numero 42, p. 15.

<sup>10</sup>Vedere sopra.

Ne concludeva. “Tutto l’avvenire della razza umana sarebbe sconvolto da tale straordinaria scoperta; ma perché apportasse ad essa fortuna e non sventura sarebbe necessario che prima fosse scomparsa dal mondo la guerra. La pace dei popoli appare dunque tanto più necessaria quanto più si afferma e giganteggia per mano dell’uomo il possesso delle energie naturali.”

Sappiamo come purtroppo sarebbe andata a finire quando nell’agosto del 1945 la prima bomba atomica (nucleare) sarebbe esplosa sopra Hiroshimà. Su di essa, sarebbero stati versati fiumi di inchiostro. Pochi storici avrebbero sostenuto che anche la Germania nazista avesse iniziato un proprio programma volto a costruire quella nuova terribile arma. In minor numero ancora sono state le persone capaci di raccontare come la fortuna che Hitler non ci riuscisse fosse dipesa solo dalla mancanza di organizzazione (proprio così!) e dalla sua stupidità.<sup>11</sup> Ma, a mia conoscenza, nessun storico della scienza o fisico professionista (pentito?) ha mai legato l’idea di tale orrendo crimine alla Prima guerra mondiale.

In genere ci si è comportati come se la comunità scientifica non fosse stata pure lei polarizzata dalla guerra. Invece la testimonianza di Tito Alippi è preziosa perché ci indica quanto quelle anime belle e presunte disincarnate dal contesto non fossero tutte dedite a scoprire “verità” naturali pure e disinteressate, ma cominciasse a pensare di progettare ben altro. Persa la guerra nel 1918, nonostante la supremazia scientifica, la Germania, trasformatasi in Repubblica di Weimar, poteva prospettarsi persino apertamente programmi nucleari. Nei suoi discorsi ufficiali in pubblico, il fisico applicato tedesco Friedrich Krüger doveva riferirsi alla “... estrazione dell’energia dall’atomo come ad uno dei più grandi problemi tecnici, su cui valga la pena concentrare i maggiori sforzi [...] di conseguenza assistiamo ora ad una grande contesa che ha luogo nei laboratorî delle nazioni civilizzate [...] per trovare i metodi adatti ad estrarre questa energia.”<sup>12</sup>

Tuttavia in seguito, quando la “grande” impresa sarebbe stata realizzata con l’apporto di molti fisici e matematici diversi, forse per non soccombere ai rimorsi, cominciava l’opera per rimuoverla e cancellarne

---

<sup>11</sup>Jungk 1982. Lazzeri 2004/05 e 2006.

<sup>12</sup>Forman 2002, p. 61.

la memoria. Il giochetto, al quale indulgono in genere i fisici ed altri personaggi scientifici per scrollarsi di dosso le responsabilità, consiste nel ricostruirsi *ad hoc* una storia gloriosa di comodo. Allora questo caso era diventato un vero e proprio tentare di occultare le prove di un crimine programmato da tempo. È dunque importante che si sappia dove tali prove si possono trovare. Quanto ancora a lungo si debbano pagare simili eredità belliche lo dimostrano i recenti (marzo 2011) incidenti capitati alle centrali nucleari giapponesi di Fukushima.

TABELLA dei rapporti tra la vita media  $\tau$  dell'elemento radioattivo e la vita media del bipede implume  $\tau_0$  misurata in a[nni], g[iorni], o[re], m[inuti], s[econdi].

<i>elemento</i>	$\tau$	$\frac{\tau}{\tau_0}$
.	.	.
<i>U235</i>	$10^9 a$	$14 \times 10^6$
<i>U238</i>	$6,4 \times 10^9 a$	$90 \times 10^6$
<i>Th232</i>	$2 \times 10^{10} a$	$3 \times 10^8$
<i>bipedi</i>	$70 a$	1
<i>U239</i>	$32 m$	
<i>Np239</i>	$32 g$	
<i>Pu239</i>	$34.800 a$	497
<i>Tc99</i>	$3 \times 10^5 a$	4.000
<i>N13</i>	$14 m$	
<i>N16</i>	$10 s$	
<i>Ar41</i>	$2,6 o$	
<i>Kr87</i>	$109 m$	
<i>Kr85</i>	$6,3 o$	
<i>Kr85</i>	$15,4 a$	
<i>Kr83</i>	$2,7 o$	
<i>Kr88</i>	$4 o$	
<i>Kr89</i>	$4,6 m$	
<i>Xe135</i>	$2,3 m$	
<i>Xe135</i>	$13 o$	
<i>Rb88</i>	$26 m$	
<i>Rb89</i>	$21 m$	
<i>H3</i>	$17,5 a$	

<i>elemento</i>	$\tau$	$\frac{\tau}{\tau_0}$
.	.	.
<i>I129</i>	$23 \times 10^6 a$	330.000
<i>I131</i>	11,5g	
<i>I133</i>	30o	
<i>Co60</i>	15m	
<i>Co60</i>	7,5a	
<i>Sr90</i>	41a	0,6
<i>Cs135</i>	76m	
<i>Cs135</i>	$2,85 \times 10^6 a$	40.000
<i>Cs137</i>	43a	0,6
<i>Ru106</i>	1,4a	
<i>C14</i>	8.186a	117
<i>Zn65</i>	347g	
<i>P32</i>	20g	
<i>Fe55</i>	3,4a	
<i>Pb210</i>	31,4a	
<i>Ce144</i>	407g	
<i>Pu238</i>	127a	1,8
<i>Pu240</i>	9.657a	138
<i>Pu241</i>	18,6a	
<i>Pu242</i>	540.000a	7.700
<i>Am241</i>	654a	9,3
<i>Cm242</i>	233g	

## *Bibliografia*

- **La Domenica del Corriere** 1916, Milano.
- Paul **Forman** 2002, *Fisici a Weimar*, Pistoia, CRT.
- David **Halliday** 1966, *Introductory Nuclear Physics*, New York, Wiley.
- Robert **Jungk** 1982, *Gli apprendisti stregoni*, Torino, Einaudi.
- Emiliano **Lazzeri**:
  - 2004/05, “Perché Werner Heisenberg ed i suoi colleghi tedeschi non costruirono la bomba nucleare?”, Tesi di laurea in Storia contemporanea, Università di Pisa.
  - 2006, “I volenterosi scienziati di Hitler”, *Sapere*, anno 72, n. 4 agosto, 28-34.