

IL DEPOSITO DEL RADIO E L'ACCELERATORE COCKCROFT-WALTON

Serena Risica, Giulio Grisanti

L'ASSEGNAZIONE DEI PREPARATI DI RADIO: DALL'UFFICIO DEL RADIO AL LABORATORIO DI FISICA

Nella prima metà del secolo scorso, il radio 226, tra tutte le sostanze radioattive, era il più usato in brachiterapia per la terapia dei tumori, per le elevate energie delle sue radiazioni e il suo tempo di dimezzamento estremamente lungo (v. la scheda *Il radio, le sue proprietà e il suo utilizzo* in allegato a questo capitolo).

Negli anni trenta del '900 in Italia era in vigore una legislazione specifica per le sostanze radioattive e i possessori di sorgenti di radio erano tenuti a denunciarne l'acquisto, il possesso e l'eventuale vendita. Era vietata l'esportazione e ogni preparato di radio utilizzato in medicina doveva essere controllato dallo Stato (1). Il Ministero dell'Interno, Direzione Generale della Sanità Pubblica, era responsabile di questi compiti attraverso l'Ufficio del Radio, parte del Laboratorio Fisico della Sanità Pubblica¹ (1). I preparati erano venduti dalle ditte dopo certificazione della loro purezza (che era dell'ordine del 99,5%) e una calibrazione eseguita da uno degli istituti ufficialmente competenti.

L'Ufficio del Radio era responsabile di tutte le operazioni tecniche connesse con l'acquisto dei preparati di radio da parte dello Stato, quali la verifica delle sorgenti provenienti dalle ditte fornitrici, della loro calibrazione e certificazione (3), dell'integrità delle capsule di platino-iridio, nelle quali i sali erano contenuti per evitare la fuga di radon, e della ripartizione dei preparati distribuiti dal Ministero ai vari centri di

¹ Questa responsabilità era stata attribuita al Ministero dell'Interno pochi anni prima, il 1° ottobre 1925 (2), mentre precedentemente era del Ministero dell'Economia Nazionale (Ispettorato Generale delle Miniere e Combustibili), attraverso l'Ufficio per le Sostanze Radioattive, con sede presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma, a via Panisperna. Quest'Ufficio per le Sostanze Radioattive, creato nel 1923, un mese dopo il suo trasferimento al Ministero dell'Interno assunse la nuova denominazione di Laboratorio Fisico della Direzione Generale della Sanità Pubblica (Ufficio del Radio) conservando la sua sede.

cura del cancro. Inoltre preparava l'*emanazione di radio*², attività di cui si parla nel seguito, utilizzata anch'essa a scopo terapeutico dall'Istituto Fisioterapico per lo Studio e la Cura del Cancro (1), ed eseguiva tutte le calibrazioni di sorgenti solide, liquide e gassose richieste dai privati. Sull'*emanazione di radio* conduceva anche ricerche sperimentali (6, 7).

L'Ufficio del Radio era operativo in quattro stanze dell'edificio di Via Panisperna, a Roma, dove era situato il famoso laboratorio nel quale Franco Rasetti, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Ettore Majorana, e successivamente Bruno Pontecorvo, (*i ragazzi di via Panisperna*), sotto la guida di Enrico Fermi, conducevano le loro ricerche in fisica atomica e nucleare. Il laboratorio di Fermi era parte dell'Istituto di Fisica dell'Università di Roma, diretto all'epoca da Orso Mario Corbino. L'Ufficio del Radio era stato creato dallo stesso Corbino, che nei primi quindici anni del '900 era considerato uno dei fisici sperimentali italiani di maggior talento (8).

L'*emanazione di radio* utilizzata dai ragazzi di via Panisperna per le sorgenti di neutroni era estratta dal radio dell'Ufficio (9), che era conservato nel sottosuolo dello stesso edificio (10). Infatti, nel 1934 Fermi, descrivendo le sue esperienze con bombardamento di neutroni (11), riportava: "Il dispositivo che ho usato è il seguente: La sorgente di neutroni è costituita da un tubetto di vetro contenente polvere di berillio ed *emanazione*. Usando circa 50 millicurie di *emanazione*, che mi sono stati forniti dal prof. G.C. Trabacchi che qui desidero ringraziare vivissimamente, si possono così ottenere oltre 100.000 neutroni al secondo" e nel 1935 scriveva ancora "In tutte queste ricerche la sorgente dei neutroni è costituita da un aghetto di vetro contenente *emanazione* e polvere di Berillio; da essa esce circa un milione di neutroni al secondo" (12).

Nello stesso anno Franco Rasetti, che aveva necessità di radio D (piombo 210) per i suoi studi, riferiva: "Lo scrivente ebbe l'idea di utilizzare alcuni preparati di radio recentemente acquistati dalla Direzione della Sanità Pubblica (...). Quelle Autorità prontamente accolsero la richiesta di poter estrarre il radio D dal radio, essendo stato fatto presente che tale operazione non avrebbe in alcun modo diminuito il valore terapeutico e commerciale del radio stesso. Di

² Si tratta del nuclide oggi chiamato *radon*. *Radio emanazione* o semplicemente *emanazione* (col simbolo Em) è il nome datogli nel 1900 dal chimico Friedrich Ernst Dorn che per primo lo scoprì. I due chimici William Ramsay, premio Nobel per la chimica nel 1904, e Robert Whytlaw-Gray furono i primi che riuscirono a isolarlo nel 1910. Successivamente Ramsay suggerì il nome *niton* (con simbolo Nt), dal latino "splendente". Solo nel 1923 il nome fu definitivamente fissato in radon (Rn) (4), ma, come si può notare nella letteratura di quel periodo, fino almeno agli anni quaranta del '900, si continuava a chiamarlo *emanazione* o *radioemanazione*. Nel 1914 fu usato per la prima volta per scopi medici (5).

ciò lo scrivente è particolarmente grato al prof. G.C. Trabacchi, Direttore del Laboratorio Fisico della Sanità, il quale prestò il suo più benevolo interessamento” (13).

Il 21 aprile 1934 fu inaugurato l'Istituto di Sanità Pubblica (ISP) in un nuovo edificio di Viale Regina Margherita – oggi Regina Elena – sotto la responsabilità del Ministero dell'Interno. L'Ufficio del Radio, diretto da Giulio Cesare Trabacchi, con il suo piccolo gruppo, nel 1935 si trasferì da Via Panisperna al nuovo edificio, come scrive Trabacchi qualche anno dopo: “Il Laboratorio fu installato nel 1935 e negli anni successivi si è arricchito di nuovi impianti, taluni necessari per ricerche nei vari campi della fisica, altri imposti dalla necessità di render possibile la collaborazione di altri Laboratori dell'Istituto” (14). Il gruppo fu uno dei nuclei che costituirono l'ISP³ e andò a formare il Laboratorio di Fisica (per una storia dell'ISP si può vedere la ref. (17)).

Al nuovo laboratorio fu assegnato il “radio di pertinenza del Ministero dell'Interno, in carico presso il Laboratorio di fisica, ufficio del radio, della Direzione Generale della Sanità Pubblica, presentemente per un quantitativo di oltre cinque grammi (dell'importo di circa 6 milioni di lire)” (18). Nella ref. (9) viene riportato: “Nell'ottobre del 1936 la quantità di radio di proprietà della Sanità controllato dal laboratorio e ceduto per uso temporaneo ad una varietà di istituti ospedalieri e cliniche radiologiche ammonta a quasi quattromila milligrammi per un valore complessivo di circa quattro milioni di lire: una cifra paragonabile, se non superiore, alla dotazione annuale complessiva del C.N.R.”. Ne derivano due riflessioni: la prima è l'enorme patrimonio che il Laboratorio si trovava a gestire per conto del Ministero; la seconda è che per trovare un accordo tra queste due stime si deve concludere che non tutto il patrimonio di radio veniva ceduto in uso temporaneo agli ospedali e la differenza di circa 1 grammo tra le due stime potrebbe essere proprio la sorgente di 1041 mg che veniva tenuta in soluzione per preparare l'emanazione.

Nel 1939 Amedeo Giannini, presidente di sezione del Consiglio di Stato e vicepresidente del CNR, affermava (19) “la disciplina dell'applicazione delle sostanze radioattive a scopi terapeutici è oggi convenientemente sistemata, e l'ufficio del radio funziona egregiamente, inquadrato nell'Istituto di sanità pubblica”.

³ Nell'ISP alla sua creazione (15) era stato previsto, tra altri, un reparto così composto: “Laboratorio di fisica applicata all'igiene e alla sanità pubblica; Ufficio del radio; Sezione di meteorologia sanitaria”. Ma la tradizione orale dell'Istituto ha sempre riportato che fu l'Ufficio del Radio, una volta all'ISP, che assunse il nome di *Laboratorio di Fisica* e non fa mai menzione di altre strutture. Si può forse dedurre che fu questo Ufficio ad assumere il ruolo egemone nella creazione del Laboratorio. Successivamente, nel 1941, l'art.1 di un nuovo Regio Decreto (16) stabilì: “L'Istituto di sanità pubblica assume la denominazione di *Istituto superiore di sanità*”.

Anche dopo il trasferimento all'Istituto il sostegno di Trabacchi ai fisici nucleari di via Panisperna continuò, in un certo senso come una eredità del sostegno che dava loro Corbino⁴, come affermò lo stesso Trabacchi (21) “Quando intorno ad Enrico Fermi si formò quella scuola di Fisica nucleare (...) colui che si occupava di procurare i mezzi perché il lavoro sperimentale potesse svolgersi senza troppe difficoltà era il compianto professore Orso Mario Corbino. (...). Scomparso il Corbino io che avevo la fortuna di trovarmi in un Istituto, che (...) dispone di ricchi mezzi di studio, proposi di offrire la più ampia ospitalità nel laboratorio di fisica ai colleghi dell'Università (...) e si venne così a realizzare una perfetta collaborazione, che ha permesso di pubblicare (...) importanti lavori di Fisica nucleare di Mario Ageno, Edoardo Amaldi, Daria Bocciarelli, N.B. Cacciapuoti, Bruno Ferretti, Franco Rasetti e G.C. Trabacchi.” Infatti Trabacchi fu l'unica persona ringraziata personalmente da Fermi alla fine del suo discorso per il Nobel.

Per svolgere correttamente l'attività di assegnazione dei preparati di radio per terapia per conto del Ministero, l'Ufficio del Radio/Laboratorio di Fisica creò un archivio, nel seguito chiamato “archivio radio”, contenente tutta la documentazione relativa a queste assegnazioni, nonché una vasta corrispondenza e numerosi documenti sempre sull'uso del radio a scopo terapeutico. L'archivio radio, conservato con estrema cura da Alvaro Grisanti⁵, alcuni anni fa è stato diviso, su proposta e richiesta degli scriventi, in una parte giudicata di interesse da parte di esperti dell'Archivio Centrale dello Stato, che è stata depositata ufficialmente, e una parte, più di dettaglio, ri-

⁴ Maria Grazia Ianniello (20) scrive: “il merito più grande di Corbino fu (...) quello di avere realizzato le condizioni favorevoli per la nascita della Scuola di Roma. Quando era ministro della Pubblica Istruzione (...) Fece istituire a Roma la prima cattedra di Fisica Teorica (...) sulla quale chiamò Fermi nel 1926, e la cattedra di Spettroscopia sulla quale chiamò Franco Rasetti nel 1930 (...). Né si limitò ad assicurare ai suoi giovani l'appoggio istituzionale ma ne seguì da vicino le ricerche con partecipazione e affetto.”

⁵ Alvaro Grisanti, che ha lavorato in Istituto dal 1950 al 1997 ed è scomparso nel 2011, raccontava che sin dal 1956 aveva iniziato a occuparsi dei preparati di radio, sia eseguendo i controlli di taratura ed ermeticità, sia curandone la distribuzione agli ospedali, tanto da essere conosciuto come *l'uomo del radio*. Ricordiamo come, non appena arrivava la notizia di un qualche terremoto in Italia, la sua prima preoccupazione era controllare, nel suo schedario, se gli ospedali della zona detenessero preparati di radio. Per questa sua attività ha gestito in prima persona per più di quarant'anni l'inventario dei preparati. È solo grazie a lui, alla sua curiosità scientifica ed efficienza, e alla sua dedizione all'Istituto, che l'archivio radio è arrivato in ottime condizioni ai giorni nostri, permettendoci sia di svelare avvenimenti del passato estremamente interessanti, descritti in questo capitolo e in quello sul radio e la Resistenza, sia di organizzare, nella seconda metà degli anni novanta del '900, la nuova fase del ritiro dei preparati (v. il capitolo sul ritiro dei preparati).

guardante le assegnazioni, tuttora conservata presso il Dipartimento di Tecnologia e Salute, nel quale è confluito il Laboratorio di Fisica dopo la ristrutturazione dell'ISS del 2003.

LA PROVENIENZA DEL RADIO E LA SUA CALIBRAZIONE

La maggior parte del radio detenuto dalle strutture sanitarie operanti in Italia, sia pubbliche che private, proveniva dall'Union Minière du Haut Katanga, come dimostrato dai numerosissimi certificati di purezza ancora presenti nell'archivio radio, risalenti fino agli anni trenta del '900 (Figura 1) e alcuni ospedali. Gli acquisti da parte del Ministero dell'Interno – e dal 1958 dal nuovo Ministero della Sanità che ne ereditò le competenze – avvennero infatti principalmente dalla Radium Belge, che lavorava minerali estratti in Haut Katanga, come testimoniato dai contratti risalenti sino agli anni venti del '900 (Figura 2). Da altri



Figura 1 - Certificato di purezza rilasciato dall'Union Minière du Haut Katanga nel 1932 (archivio radio).

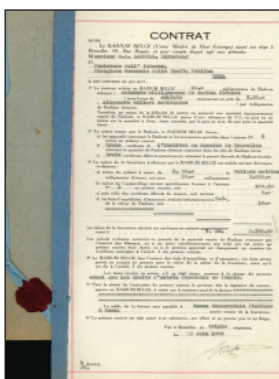


Figura 2 - Contratto di acquisto del radio dalla Radium Belge del 1928 (archivio radio), sigillato con timbro di ceralacca.

certificati risulta anche che, ad esempio nel 1938, una parte dei preparati fu acquistata da ditte cecoslovacche e proveniva da Joachymov, allora Cecoslovacchia, oggi Repubblica Ceca (22). Infine, ancora altri certificati testimoniano che negli anni cinquanta del '900 la compagnia Radium Belge era divenuta nuovamente la maggiore fornitrice di radio per il Ministero, cosa che durò per una decina di anni, visto che la produzione di radio in Belgio cessò nel 1960 (23).

Per quanto riguarda la calibrazione dei preparati, alla fine degli anni venti del '900 erano disponibili due cam-

- Laboratoire Curie, dell'Institut du Radium dell'Università di Parigi
- Institut de Mesures, dell'Università libera di Bruxelles
- National Physical Laboratory, Teddington (oggi facente parte della Greater London)
- Radium Institute, Londra
- US Bureau of Standards, Washington
- Institut für Radium Forschung, Vienna
- Physikalische Technische Reichsanstalt, Berlino.

Infatti nell'archivio radio furono ritrovati dei certificati di taratura di preparati di radio degli anni venti del '900, firmati da Marie Curie e Hans Geiger (Figura 3) e Auguste Piccard, che all'epoca erano responsabili, rispettivamente, del Laboratoire Curie di Parigi, del Physikalische Technische Reichsanstalt di Berlino e dell'Institut de Mesures di Bruxelles.

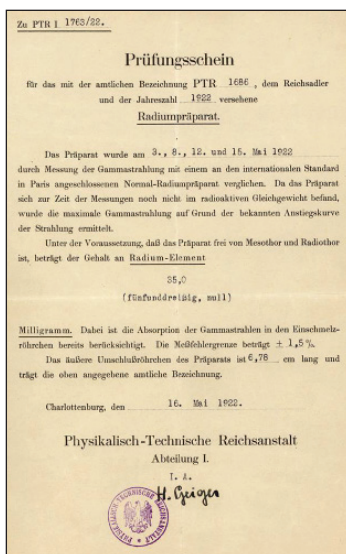


Figura 3 - Certificati di taratura di preparati di radio firmati da Marie Curie nel 1921 e da Hans Geiger nel 1922 (archivio radio).

Un articolo pubblicato nel 2002 (25), relativo alla storia degli standard di radio 226 a partire dall'inizio del secolo scorso, conferma le informazioni sui primari e secondari sopra riportate, specificando che gli standard furono preparati da Otto Hönigschmidt, dell'Institut für Radiumforschung di Vienna, che aveva a disposizione uno dei due campioni primari, su richiesta della Commission internationale des étalons de radium, per avere ampole di radio adatte all'utilizzo come standard negli istituti di metrologia dei diversi paesi. Nell'articolo (25) vi sono, inoltre, altre informazioni molto interessanti che riguardano, in una certa misura, il Laboratorio di Fisica.

All'inizio degli anni trenta del '900 c'erano crescenti preoccupazioni a riguardo dell'integrità a lungo termine dei 7 secondari del 1912⁶, per cui la Commission internationale des étalons de radium chiese a Hönigschmidt di iniziare la preparazione di un nuovo set di standard. Questi nuovi secondari, che furono confrontati con i primari di Parigi e Vienna, sono conosciuti come gli standard secondari del 1934. Marie Curie fu coinvolta nella decisione di preparare questa seconda serie di standard, ma morì il 4 luglio 1934, solo un mese dopo che gli standard furono preparati. La figlia Irène prese il suo posto nella Commission internationale des étalons de radium e i certificati del 1934 portano il suo nome. L'articolo (25) elenca il numero di codice e le masse di cloruro di radio di tutti e 20 i secondari e per 15 di questi riesce a ricostruire la collocazione attuale, o di allora, mentre per 5 non ha informazioni. Con nostra grande sorpresa e meraviglia scoprimmo che nell'elenco dei secondari è presente un campione n. 5429 di 33,34 mg che era conservato nel Laboratorio di Fisica, come si può vedere nell'ultima riga della tabella in Figura 4. Infatti 33,34 mg di cloruro di radio corrispondono a 25,38 mg di radio elemento. La tabella, ritrovata nell'archivio radio, non è datata e porta un titolo sicuramente erraneo: si tratta di una serie di campioni, sicuramente non primari, che venivano utilizzati come *sorgenti di riferimento* (26) per la verifica della taratura dei preparati, che veniva eseguita con una camera a ionizzazione ad aria libera (Figura 5), come è testimoniato anche da numerosi certificati di ta-

⁶ In realtà dopo più di 90 anni non c'è nessuna evidenza che gli effetti temuti della possibile crescita di gas elio nei contenitori di vetro sigillati e dell'irradiazione del vetro per tempi lunghi abbiano compromesso qualcuno degli standard, ma le preoccupazioni allora erano reali (25).

CAMPIONI PRIMARI IN VETRO								
N° matricola	CERTIFICATO DI TARATURA					correzione per assorbim.	valore corretto	collocaz.
	mg. Ra	ENTE	numero	data	errore			
K	2052	986	P.T.R.	2052	6/3-9-24	1%	1.1%	9.74
	3.76	1.94	LAB. CURIE	9354	29-8-24	2%	1%	1.92
K	14106	1.52	UNIV. LIBRE	2887	8-7-27	1%	0.3%	1.515
K	14105	2.86	UNIV. LIBRE	2886	8-7-27	1%	0.8%	2.84
O	13945	9.15	UNIV. LIBRE	2882	8-7-27	1%	1.1%	9.05
K	2049	18.96	P.T.R.	2049	6/13-9-24	1%	1.0%	18.56
	2051	17.25	P.T.R.	2051	6/13-9-24	1%	1.0%	17.02
K	1441	12.12	P.T.R.	1441	25-12-20	1%	1.0%	12.04
	1440	13.3	P.T.R.	1440	3-12-20	1%	1.0%	13.1
	5429	25.38	cert. mancante	il campione sembra rotto				

K* Campioni tarati a Vienna P. Karlik (1.10.23) O = Valore ricavato dalla Karlik (1.10.23)

Figura 4 - Tabella, non datata, da cui risulta che uno dei campioni secondari del 1934, preparati da Hönigschmidt, era in Istituto (archivio radio).



Figura 5 - Studio-laboratorio dei primi direttori del Laboratorio di Fisica. Si possono riconoscere: a destra una camera a ionizzazione ad aria libera e a sinistra un apparecchio per la taratura di preparati di radio molto attivi, costituito da un tubo di piombo con all'interno un carrello per posizionare il preparato a una opportuna distanza dall'elettrometro. Ambedue provenivano dall'Ufficio del Radio (archivio fotografico ISS).

ratura a partire dal 1936, conservati nell'archivio radio. Purtroppo il campione era danneggiato e fu smaltito in occasione della bonifica della cassaforte descritta nella testimonianza di Giulio Grisanti nel capitolo sui Servizi tecnici in questo stesso volume.

Infine, alla fine degli anni trenta del '900, la calibrazione dei preparati acquistati da ditte cecoslovacche, citati sopra, veniva eseguita dall'Istituto Radiologico Statale della Repubblica Cecoslovacca a Praga e garantita dal Ministero dei Lavori Pubblici di Praga.

LA PRODUZIONE DELL'EMANAZIONE DI RADIO

Nel 1932 (1) l'Ufficio del Radio preparava l'emanazione di radio con due impianti esistenti nel Laboratorio Fisico della Sanità Pubblica: il primo impianto, costruito con materiale acquistato all'estero e poi modificato nel Laboratorio, aveva operato sin dal 1925 usando una soluzione contenente 200 mg di radio elemento, il secondo, costruito nel 1929 con apparecchi creati interamente nel Laboratorio, in base all'esperienza fatta con il primo, usava una soluzione contenente 1041 mg. Evidentemente si tratta dell'acquisto dei 1041 mg di radio, sotto forma di bromuro di radio, la cui fattura dell'Union Minière du Haut Katanga di 985.306 lire, del marzo 1928, depositata all'Archivio Centrale dello Stato, è citata nella ref. (9). Almeno uno dei due impianti fu trasferito al Laboratorio di Fisica dell'ISP, come è testimoniato dal confronto tra le foto riportate nella ref. (1) e le foto di archivio dell'ISS (Figura 6), documentato

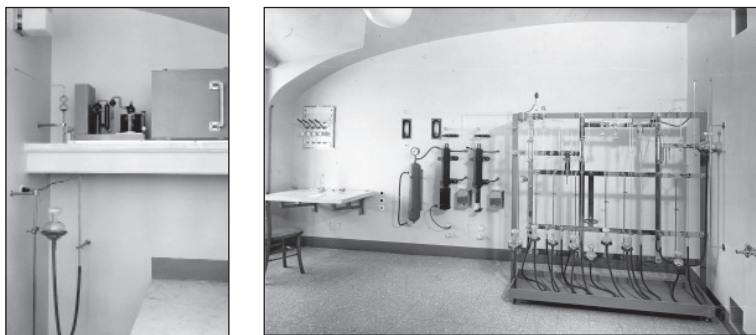


Figura 6 - A sinistra, ampolla con la soluzione di cloruro di radio, usata per estrarre l'emanazione, in una doppia cassetta di piombo (parte fissa e parte mobile su carrello) e, a destra, impianto per la purificazione dell'emanazione (archivio fotografico ISS).

da un articolo di Marotta (27) e da una lettera di Marotta a Fermi dell'ottobre 1935. In questa lettera (28) Marotta chiede a Fermi per quanto tempo ancora gli serva l'emanazione di radio, che gli veniva fornita dal Laboratorio "per le Sue importanti ricerche", in quanto si dovrà trasportare nella "nuova sede del Laboratorio Fisico la soluzione dalla quale abitualmente si estrae la emanazione di Radio". Quindi nell'ottobre 1935 l'apparecchiatura non era ancora stata trasferita. È da notare che nella stessa lettera Marotta chiede a Fermi la sua opinione sulla possibile utilità dei radionuclidi artificiali "per sostituire il Radio nelle applicazioni medicali".

Nell'articolo di Marotta (27) è anche spiegata la procedura utilizzata per preparare i tubetti in vetro contenenti l'emanazione di radio⁷. Questi, dopo la calibrazione, venivano chiusi e sigillati alle due estremità e inseriti in aghi di platino per l'inserzione in tessuti e organi, oppure in tubi di piombo di 1 mm di spessore per applicazioni esterne, e inviati a ospedali o cliniche, su richiesta (1, 27). L'uso in brachiterapia di questi aghi o tubi con emanazione di radio, al posto di aghi o tubi di radio, era preferito sia per il loro valore economico molto inferiore, che per la loro maggiore sicurezza d'uso, data l'emivita molto più breve del radon rispetto al radio. In questo modo veniva anche evitato il rischio di perdite di sorgenti preziose e ad alto rischio. Tuttavia la sua preparazione era possibile solo in laboratori ove si poteva immobilizzare una quantità relativamente grande di radio e dove era disponibile personale esperto, in quanto erano necessarie operazioni ripetute frequentemente, che comportavano una rilevante esposizione a radiazioni ionizzanti (24).

L'impianto, a quanto risulta, fu smantellato verso la fine degli anni cinquanta del '900, probabilmente dopo l'esplosione in offici-

⁷ Nel 1940 veniva usata una soluzione di cloruro di radio contenente 1 grammo di radio elemento, probabilmente la stessa di 1041 mg utilizzata a via Panisperna. L'emanazione di radio veniva estratta assieme a elio, idrogeno e ossigeno con una pompa a mercurio e introdotta in un contenitore ove, con una scarica elettrica, si faceva combinare l'idrogeno e l'ossigeno nel gas estratto. Il vapore d'acqua formato veniva eliminato per mezzo di essiccatori. L'emanazione era allora pompata con una seconda pompa a mercurio in un tubo a U, dove veniva condensata, raffreddando il tubo con aria liquida. Gli altri gas venivano pompati con una pompa a diffusione. Alla fine l'emanazione veniva raccolta con una terza pompa a mercurio in un capillare in vetro (1, 27) ottenendo dei preparati dell'intensità voluta. Nel lavoro di Nella Mortara del 1932 (1) è riportato che il capillare, generalmente lungo 40 cm e con un diametro esterno di 0,5 mm, veniva separato con un colpo di fiamma e solitamente diviso in 32 tubetti di 1 cm circa ciascuno; poiché l'estrazione avveniva due volte a settimana i tubetti di vetro contenevano circa 16 mCi ciascuno (cioè circa 0,6 GBq), per un totale di oltre 500 mCi (18,5 GBq).

na ricordata da Giulio Grisanti come un episodio vissuto e narrato da Alvaro Grisanti, nel capitolo sui Servizi tecnici.

È interessante notare che già nel dicembre 1934 alcune note, reperite nell'archivio radio, della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Roma (firmata dal Preside, Aristide Busi), del Regio Istituto Regina Elena per lo Studio e la Cura dei Tumori di Roma, dell'Istituto di Radiologia della Regia Università di Milano, e del Centro Ospitaliero dell'Ospedale di S. Giovanni Battista e della Città di Torino per lo Studio, Diagnosi e Terapia dei Tumori (firmata dal Direttore dei servizi radiologici Bertolotti) esprimevano dei dubbi sull'utilità dell'emanazione per la cura dei tumori rispetto all'impiego diretto dei sali di radio, con diversi argomenti, tra cui l'instabilità delle dosi che era elevata, ma per periodi brevi. Tre su quattro, quindi, invitavano a ridurre la quantità di radio in soluzione per produrre l'emanazione e a distribuire il resto agli ospedali. Si deduce da queste note che esse erano state inviate in risposta a una nota del 20 dicembre del Direttore Generale della Sanità Pubblica Gaetano Basile (di cui non è stata trovata copia) che poneva due quesiti: se l'impiego dell'emanazione di radio nella cura dei tumori avesse lo stesso rendimento terapeutico dell'applicazione del radio e se il quantitativo di radio che era in soluzione andasse o no mantenuto in quello stato.

Oltre a produrre l'emanazione di radio, il Laboratorio curava, secondo quanto riportato in un Decreto Ministeriale del 1947 (29), anche il "Controllo di apparecchi emanogeni, contenenti non più di mezzo milligrammo di radioelemento", per ognuno dei quali era richiesta una tariffa di 500 lire.

IL CONTROLLO E LA DISTRIBUZIONE DEI PREPARATI DI RADIO

La distribuzione dei preparati di radio per terapia per conto del Ministero, iniziata negli anni venti del '900, continuò fino al 1970 per un totale di circa 50 grammi di radio 226 (cioè circa 1850 GBq). Le assegnazioni furono fatte in 111 città a 160 ospedali (30). Si noti che qui e nel seguito con ospedale ci si riferisce a ogni struttura sanitaria pubblica quale ospedale, istituto e clinica universitaria o istituto per la cura dei tumori.

I preparati di radio 226 erano aghi (da 1, 2, 3 e 3,33 mg), tubi (da 2, 5, 10, 20 e 30 mg), celle (da 1 e 2 mg) e placche (da 5 e 10 mg), quindi con attività da 37 MBq a più di 1,1 GBq e dosi a contatto da 0,8 Gy h⁻¹ a circa 23 Gy h⁻¹. Per questo motivo nell'archivio radio sono conservate, a partire dagli anni venti del '900, la corrispondenza ufficiale e le schede contenenti nome della città e dell'ospedale, numero delle sorgenti assegnate e, per ogni sorgente, acronimo, numero di serie, dimensioni, attività e data di assegnazione.

Il Decreto Ministeriale del 1947, già citato (29), riferisce che, oltre a molte altre *determinazioni*, venivano anche eseguite determinazioni “di radioattività su composti puri o quasi puri” alle tariffe di 1500 lire per composti da 1 a 30 mg di radioelemento e di 2600 lire per quelli da 31 a 100 mg.

Alla fine del novembre 1958 nel *Piano organizzativo* (31) del Laboratorio risulta che il “servizio deposito e distribuzione del Radio” e il “servizio taratura dei preparati radioattivi” erano tra i compiti del Servizio radioisotopi, con a capo Mario Marziali (il termine deposito del radio, tramandato a noi dal passato, aveva, infatti, il significato di un servizio – di deposito – nei riguardi degli ospedali). Aggregata a questo reparto era Nella Mortara, come borsista, “col compito di studiare i metodi di misura di deboli radioattività”. Nello stesso documento si lamenta che “Gli attuali locali del deposito radio al seminterrato sono del tutto inadeguati” e che “Sono pertanto necessari nuovi locali” e nell'elencare i locali necessari viene citato un “locale per l'estrazione dell'emanazione del radio”. Inoltre l'apparecchio per l'estrazione dell'emanazione viene elencato tra le *Attrezzature fondamentali* di questo servizio. Questo significa che l'incidente, e lo smantellamento dell'apparecchio, avvennero dopo il 15 novembre 1958, data a cui si riferisce il piano (31).

Nei primi anni sessanta del '900 nel Laboratorio di Fisica fu progettato un apparecchio che consentiva la manipolazione e l'osservazione dei preparati di radio in modo semiautomatico. La scelta era stata dettata dalla grande quantità di sorgenti da manipolare, per ottenere una notevole capacità di lavoro e garantire contemporaneamente la sicurezza dell'operatore. Infatti nel 1961 è riportato che nei due anni precedenti erano stati controllati aghi e tubi da 1 mg a 10 mg ciascuno per un totale di più di 10 curie (cioè 370 GBq) (32) e nel 1964 che la calibrazione dei preparati di radio essenzialmente per uso

terapeutico, con il rilascio delle relative certificazioni, era una delle attività di controllo più gravose del Laboratorio (33). Pertanto i tradizionali sistemi di schermatura in piombo, con finestre di osservazione in vetro al piombo e l'uso di pinze, o strumenti simili, non erano sufficientemente efficienti e protettivi in termini di esposizione dei lavoratori, particolarmente per le mani e il cristallino (32). Di questi apparecchi semiautomatici furono costruiti due esemplari (Figura 7) che, collaudati nel Laboratorio, potevano essere riprodotti negli ospedali interessati (32). Nel Laboratorio erano utilizzati per:

- controllare e riconoscere i singoli preparati di radio al momento del loro arrivo dalla ditta fornitrice, leggendo, con sistemi di ingrandimento, le sigle e i numeri di matrice incisi;
- misurare il diametro e la lunghezza dei preparati, controllo spesso necessario;

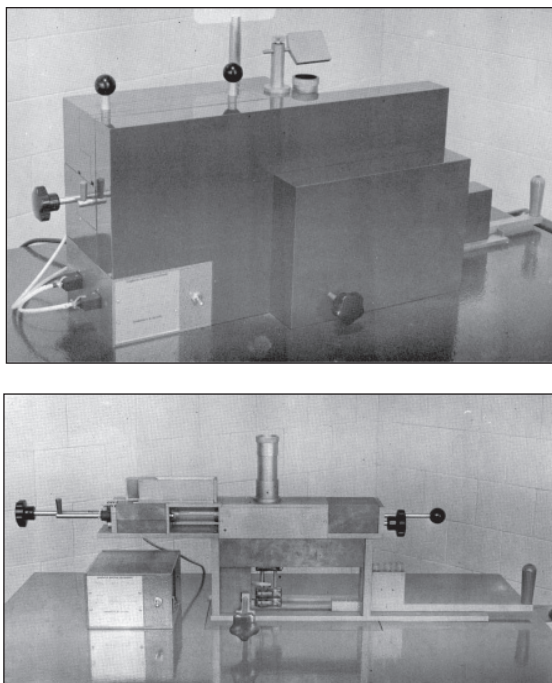


Figura 7 - Apparato per l'identificazione dei preparati di radio, in alto con schermatura e in basso senza. Un sistema ottico di proiezione e ingrandimento permetteva il controllo del diametro e della lunghezza dei preparati e la lettura delle sigle e dei numeri di matricola incisi sugli stessi (dalla ref. 32).

- selezionare e dividere i preparati tra gli utilizzatori;
- procedere a una nuova verifica sui singoli preparati in presenza di un rappresentante dell'ente utilizzatore, come richiesto;
- smistare velocemente i preparati in diversi contenitori.

Tra le attività del Laboratorio era anche continuata la calibrazione delle sorgenti, che anche a quell'epoca era fatta con la camera a ionizzazione ad aria libera, misurando la corrente di ionizzazione con un elettrometro, uno specchio e due fotocellule.

Nel 1961 una circolare del Ministero della Sanità (34) richiese agli ospedali di inviare al Laboratorio di Fisica dell'ISS, per un controllo, tutti i preparati di radio utilizzati in medicina che si sospettassero danneggiati (35). Pertanto, il Laboratorio di Fisica fu anche incaricato di verificare l'integrità della capsula (generalmente di platino iridio) dei quattro tipi di preparati contenenti radio. L'ermeticità era un requisito assoluto per utilizzare in sicurezza le sorgenti, cioè senza pericolo di dispersioni del materiale radioattivo. Infatti, data l'alta radiotossicità del radio e della sua possibile emanazione, anche fratture molto piccole delle capsule potevano avere conseguenze gravi sia per i pazienti che per gli operatori. L'iniziativa era nata dal fatto che sui preparati erano stati identificati numerosi danni, tali da far sospettare incrinature o addirittura rotture dell'involucro protettivo contenente il radio, quali abrasioni della capsula (dovute all'uso non appropriato di pinze o di altri strumenti non idonei, che rendevano molte volte anche illeggibili gli acronimi e i numeri di serie incisi), alterazioni della forma (quali curvature o torsioni degli aghi e dei tubi), rigonfiamenti delle placche, ecc. (36).

Per questo controllo i preparati venivano chiusi per una o due ore – in un secondo tempo per quattro ore – in grandi contenitori di ottone schermati con piombo costruiti in Laboratorio (Figura 8) ed era utilizzato il radon come tracciante di possibili fratture. I contenitori avevano elettrodi negativi, caricati a 300 V, per catturare gli eventuali prodotti di decadimento del radon ed erano di alluminio monouso, per evitare l'accumularsi di contaminazione. Gli schermi di piombo erano tali da permettere la misura di radio fino a 500 mCi (18,5 GBq), limitando, nelle condizioni peggiori, il rateo di esposizione alla distanza di mezzo metro a meno di 10 mR/h (circa 0,1 mGy/h). Il disco di alluminio veniva contato con un rivelatore Geiger prima e dopo ogni esposizione (36). Tutti i preparati trovati danneggiati veni-

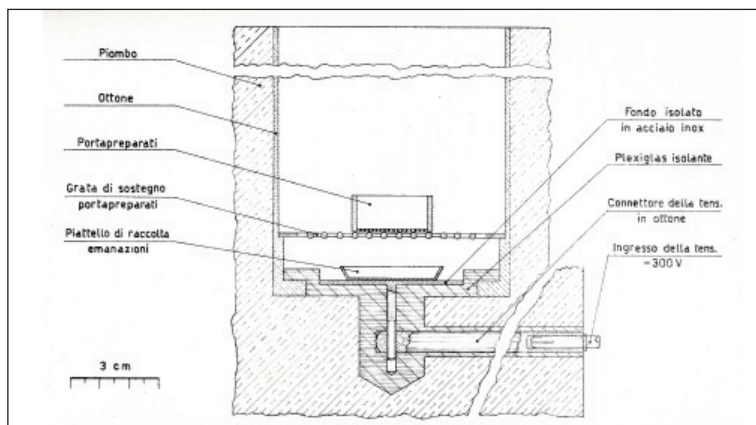


Figura 8 - Sezione dell'apparecchio, schermato con piombo, per controllare l'ermeticità dei preparati di radio (dalla ref. 38).

vano “immediatamente ritirati dall'uso e, tramite le competenti Autorità, affidati a ditte specializzate per il riconfezionamento” (36).

A seguito dei risultati di questa attività, nel 1965 il Ministero della Sanità, su proposta del Laboratorio di Fisica (37), promosse il controllo su scala nazionale di tutti i preparati radiferi per uso terapeutico – sia assegnati in uso temporaneo, sia di proprietà dei singoli Enti – controllo che iniziò dal Piemonte e dalla Lombardia (38). Secondo quanto riportato nella ref. (35), dopo aver controllato circa metà delle sorgenti di queste due regioni, ne erano state individuate circa il 10% danneggiate ed erano state ritirate. L'Istituto giudicava questi dati preoccupanti per la salute dei pazienti e dei lavoratori e sollecitò gli altri utilizzatori a sottoporre a controllo le sorgenti, controllo che, si precisava, non aveva mai richiesto più di una settimana lavorativa (35, 38).

VERSO IL SUPERAMENTO DELL'USO TERAPEUTICO DEL RADIO: LA PROGETTAZIONE DEL PRIMO ACCELERATORE ITALIANO

Il Direttore dell'Istituto di Sanità Pubblica Domenico Marotta era profondamente convinto dell'importanza della ricerca fondamentale nella vita del nuovo Istituto e considerava molto importan-

te la collaborazione di Fermi, sia per la sua fama ormai mondiale, sia per il fatto che essendo il membro più giovane dell'*Accademia d'Italia*, creata da Mussolini, poteva avere un'influenza politica positiva (10). Nel 1933, Jean Frédéric Joliot e la moglie Irène Curie, bombardando alcuni elementi leggeri con particelle alfa, avevano scoperto alcuni elementi radioattivi nuovi, cioè la radioattività artificiale. Prendendo spunto da questi studi, Fermi decise di sostituire le particelle alfa con neutroni per evitare la repulsione elettrostatica che rendeva il bombardamento meno efficace (39). All'inizio usò i neutroni di sorgenti di polonio-berillio, che, tuttavia, non ebbero successo (9) poi passò a utilizzare "piccoli tubetti di vetro riempiti di polvere di berillio e emanazione di radio". Come Fermi stesso racconta, in un seminario tenuto all'Istituto di Sanità Pubblica il 29 aprile 1938 (39), gli esperimenti sin dall'inizio ebbero successo e "si poterono ottenere sostanze radioattive artificiali in quantità facilmente misurabili". Successivamente egli scoprì che l'uso di "una grossa massa di paraffina o di acqua o in genere di una sostanza contenente molto idrogeno", per rallentare i neutroni prima della collisione, rendeva molto più efficiente la produzione di sostanze radioattive artificiali. Tuttavia, apparve chiaro immediatamente che, sia per la ricerca fondamentale che per nuove applicazioni mediche, erano necessarie sorgenti di neutroni molto più intense (39). Nel seminario citato Fermi sostenne anche che era facilmente prevedibile che le sostanze radioattive artificiali avrebbero trovato un impiego terapeutico analogo a quello delle sostanze radioattive naturali, che sperava che l'uso delle sostanze radioattive artificiali in quantità rilevanti avrebbe anche reso possibili molti nuovi programmi di ricerca in biologia e chimica, usando i radioelementi come traccianti, e che guardava all'Istituto come a un ambiente particolarmente adatto per la realizzazione di questi studi interdisciplinari (39).

Dopo molte discussioni tra Marotta, Trabacchi e Fermi, e un impegno scritto di Fermi a Marotta nel 1936 sul possibile uso pratico delle nuove sostanze radioattive, "nel novembre 1936 Fermi e Domenico Marotta (...) presentarono al Ministero degli Interni (da cui dipendeva l'Istituto di Sanità) una proposta per realizzare un acceleratore del tipo Cockcroft-Walton da 1 Mev, cioè in grado di accelerare le particelle fino ad un'energia di un milione di volt" (8). La ragione per cui, per la produzione di neutroni, preferì un

acceleratore di ioni a un ciclotrone fu perché il primo presentava anche la possibilità di produrre, con lievi varianti, raggi X di elevato potere penetrante (40, 41), ma anche, molto probabilmente, perché era convinto che un ciclotrone fosse troppo dispendioso (10). Allo stesso tempo, Trabacchi aveva avuto da Fermi la garanzia della sua collaborazione nel caso i fondi fossero stati stanziati (10). Va notato che dietro questa scelta di realizzare un impianto per produrre sostanze radioattive artificiali c'erano sicuramente ragioni mediche, ma molto probabilmente Trabacchi, Fermi e i fisici romani erano convinti che l'acceleratore avrebbe permesso di proseguire le ricerche di carattere fondamentale sulla struttura del nucleo (9) e competere nella ricerca fondamentale nucleare con laboratori stranieri che avevano già un acceleratore (10).

In attesa dei fondi, “nel giugno del 1937, Fermi e il suo gruppo realizzarono un prototipo [di acceleratore] in scala ridotta, da 200 keV, nei locali dell'Istituto di fisica, che nel frattempo era stato trasferito da via Panisperna alla nuova città universitaria” (8). I fondi furono disponibili e la costruzione dell'acceleratore era appena partita quando, alla fine del 1938, Fermi partì per gli Stati Uniti, come è noto, direttamente dopo aver ricevuto il premio Nobel a Stoccolma “per la scoperta di nuove sostanze radioattive appartenenti all'intero campo degli elementi e per la scoperta [...] del potere se-

lettivo dei neutroni lenti” (8). Il risultato fu lo scioglimento del gruppo dei ragazzi di via Panisperna (10). Tuttavia, alla fine dell'anno seguente l'acceleratore Cockcroft-Walton da 1,1 MeV fu completato all'ISP (Figura 9) e divenne operativo (9), divenendo il primo acceleratore italiano e uno dei primi in Europa, allo stesso livello di quelli in uso al National Bureau of Standards di

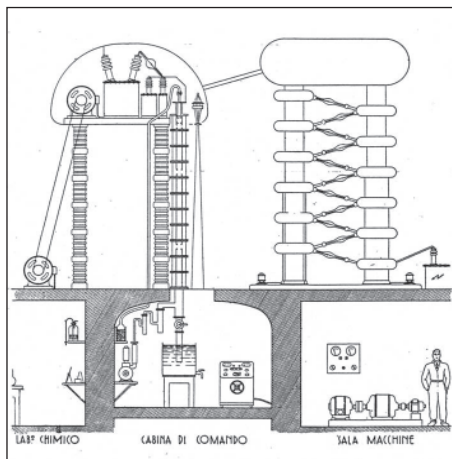


Figura 9 - Schema dell'acceleratore Cockcroft-Walton (da archivio fotografico ISS).

Washington, al National Physical Laboratory di Londra, al Physikalische Technische Reichsanstalt di Berlino e all'Hôpital St. Antoine di Parigi (10). Nell'acceleratore, l'emissione di neutroni per la produzione di radionuclidi artificiali veniva ottenuta bombardando con ioni un disco di polvere di berillio fortemente pressata. A circa 1 MV l'intensità del fascio di neutroni raggiunta era stata quella che si sarebbe potuta ottenere mediante berillio mescolato con 200 g di radio elemento (41), a 1,2 MV con 400 g di radio (27). In quest'ultimo lavoro Marotta riferisce che l'acceleratore fu usato anche per la produzione di raggi X di energia molto elevata – usando il tubo come un tubo a raggi X, cioè accelerando elettroni, invece di ioni, e applicando 1,1 MV – e raggi gamma fino ad una energia di 15 MV. Sia i radionuclidi artificiali che i raggi X e gamma erano usati per ricerca scientifica in fisica, chimica, biologia e medicina e per la cura del cancro.

La progettazione e costruzione dell'acceleratore furono il risultato più evidente della collaborazione tra l'ISP e il gruppo dei ragazzi di via Panisperna, “che aveva trovato in realtà nell'Istituto anche un mezzo di finanziamento indiretto delle ricerche di base di suo interesse” (42).

Il 17 ottobre 1946 Marotta, nella sua prolusione alla Conferenza tenuta in Istituto in occasione del cinquantenario della scoperta della radioattività, affermò che fino a quel giorno con l'acceleratore erano stati eseguiti nel “nostro Istituto n. 16 lavori sperimentali di fisica moderna, tutti pubblicati nei Rendiconti dell'Istituto e in altri autorevoli Periodici italiani e stranieri” (43).

Dopo più di dieci anni dalla sua costruzione, l'acceleratore era ancora l'unico funzionante in Italia e aveva continuato a lavorare “senza bisogno di revisioni o modifiche che andassero al di là dell'ordinario servizio di manutenzione” (44). Solo all'inizio degli anni cinquanta si sentì la necessità di apportare miglioramenti all'acceleratore e ai relativi servizi (44, 45).

Non è il caso in questo contesto di dilungarsi sulle numerose utilizzazioni che furono fatte negli anni dell'acceleratore, tuttavia va ricordato, come Ugo Amaldi testimonia, che quando, vent'anni dopo, entrò come giovane allievo in Laboratorio l'acceleratore era ancora in funzione (10). Infatti, nel 1958 Agno (31) scriveva che i compiti del Reparto Basse Energie – formato all'epoca da Ugo Amaldi, Guido Missoni e Rocco Orlando, quale addetto all'acce-

leratore – “sorto attorno all’impianto acceleratore a 1 MeV” sono di “svolgere ricerche sulle interazioni responsabili della radioattività beta in relazione ai nuovi sviluppi assunti dalla questione in seguito alla recente scoperta della non conservazione della parità. Potrà inoltre essere sviluppato un programma di ricerche sugli aspetti applicativi delle basse energie, utilizzando l’acceleratore a 1 MeV come sorgente di neutroni, eventualmente in collaborazione con Enti o Istituti forniti di reattori nucleari”. Sosteneva, inoltre, “L’attrezzatura ausiliaria (...) dovrà essere profondamente rinnovata per permettere ai ricercatori del reparto di competere ad armi pari con gli altri laboratori che lavorano nello stesso campo”.

Infine nell’Appendice 1 di questo quaderno nel ritratto di Mario Ageno viene ricordato che nel 1961, Carlo Rubbia, ospite del laboratorio, utilizzava l’acceleratore per tarare della strumentazione da utilizzare al CERN (Organizzazione europea per la ricerca nucleare) di Ginevra.

L’esatto termine dell’utilizzo dell’acceleratore non sembra sia documentato e sembra risalire alla prima metà degli anni sessanta del ’900, viceversa è ampiamente documentata la sua alienazione.

Fu con una nota del 22 maggio 1980 che Paolo Salvadori, Direttore dell’allora Laboratorio delle Radiazioni, propose al Direttore dell’Istituto e al Direttore dei Servizi Amministrativi e del Personale la sua alienazione a “Istituti di ricerca o universitari che possano collocarlo in una adeguata e reale dimensione di strutture, a disposizione di un pubblico visitatore interessato”. La nota riporta “Tale apparecchiatura, che ha svolto a suo tempo un ruolo importante nelle ricerche di fisica nucleare essendo il primo acceleratore del genere realizzato in Italia, (...) non ha oggi alcuna possibilità di ulteriore utilizzazione, anche per i rilevanti problemi di radioprotezione che il suo funzionamento comporta. È indubbio, d’altronde, che l’acceleratore presenti un valore storico rilevante e che ne debba essere, quindi, garantita la conservazione integra. Purtroppo l’esiguità dello spazio presente in Istituto (...), rende indispensabile procedere all’alienazione” e “essendo evidente l’inesistenza di qualsiasi valore venale, data la non commerciabilità o utilizzazione dello stesso o di sue parti, si suggerisce a titolo puramente simbolico, il valore di lire 1000 (mille).” Acquisiti i necessari pareri ufficiali – la Commissione acquisti e vendite dichiarò di condividere la richiesta

e le condizioni proposte da Salvadori ed espresse parere favorevole (46) – l'ISS indisse, a mezzo di invito speciale raccomandato, una licitazione privata per la vendita dell'acceleratore (47). Risultò aggiudicatario l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) che aveva offerto l'aumento di 199.000 lire sul prezzo base di 1.000 e il 17 settembre 1981 l'ISS stipulò regolare contratto con l'INFN che si impegnava “a ricostruire nella sua odierna ed integrale struttura l'apparecchiatura in questione entro due anni dalla data di prelievo, la quale andrà collocata in locali idonei” (48).

Nota

Molti dei documenti citati nel capitolo e non riportati tra il materiale illustrativo sono disponibili online, in allegato a questo volume, come materiale supplementare.

Dati bibliografici e documentazione storica

1. Mortara N. L'Ufficio del Radio. *Rivista di radiologia e fisica medica*, diretta da Gian Giuseppe Palmieri 1932; IV, fasc. IV:462-8.
2. Regio Decreto-legge 16 luglio 1925, n. 1421. Passaggio dell'Ufficio per le sostanze radioattive dal Ministero dell'economia nazionale al Ministero dell'interno. *Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia* n. 196 del 25 agosto 1925.
3. Mortara N. Apparecchi per la taratura dei preparati radioattivi. *Rivista di radiologia e fisica medica*, diretta da Gian Giuseppe Palmieri 1933; VII, fasc. III:334-9.
4. Holden N.E. *History of the origin of the chemical elements and their discoverers*. Prepared for the 41st IUPAC General Assembly in Brisbane, Australia June 29th - July 8th, 2001. BNL-NCS-68350-01/10-REV Brookhaven National Laboratory. Upton, New York 11973-5000 USA. Last Updated: March 12, 2004 <http://www.nndc.bnl.gov/content/elements.html>.
5. George A.C. *World history of radon research and measurement from the early 1900's to today*. In: Atti dell'American Institute of Physics Conference, 07-12 Ottobre 2007, Buzios, Rio de Janeiro (Brazil) 2008, 1034, 20. <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.2991210>.
6. Mortara N. Un metodo semplice per determinare il coefficiente di diffusione della emanazione di radio. *Rendiconti della R. Accademia Nazionale dei Lincei* 1933; XVII, serie 6a, I sem., fasc.11:949-51.
7. Mortara N. Sull'impiego dell'aria liquida per la purificazione della emanazione di radio. *Rendiconti della R. Accademia Nazionale dei Lincei* 1933; XVII, serie 6a, I sem., fasc.12:1069-72.
8. De Maria M. Fermi: un fisico da via Panisperna all'America. Serie I grandi della Fisica. *Le Scienze* 1999; anno II, 8:1-112.

9. Battimelli G. Le origini del laboratorio di fisica. *Rendiconti della Accademia Nazionale delle scienze detta dei XL*, 1999; serie V, XXIII, parte II, Tomo I:149-60.
10. Amaldi U. Slow neutrons at via Panisperna: the discovery, the production of isotopes and the birth of nuclear medicine. *Fisica in Medicina. Periodico di informazione AIFM* 2002;1:32-45.
11. Fermi E. Radioattività indotta da bombardamento di neutroni. *La ricerca scientifica* 1934; anno V, I:283. Fu il primo annuncio della radioattività artificiale indotta da bombardamento neutronico, a cui seguirono nel 1934-35 altri 9 articoli, firmati dal solo Fermi o da Fermi con il suo gruppo di ricerca, sullo stesso argomento, pubblicati, con numero romano da II a X, sulla stessa rivista.
12. Fermi E. Recenti risultati della radioattività artificiale. *La ricerca scientifica* 1935; anno VI, II:399-402.
13. Rasetti F. Sopra un forte preparato di Radio D ottenuto nell'Istituto Fisico di Roma. *La ricerca scientifica* 1934; anno V, I:3-5.
14. Trabacchi G.C. Il laboratorio di fisica dell'Istituto Superiore di Sanità. *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanità* 1947; X:312-64.
15. Regio Decreto-Legge 11 gennaio 1934, n.27. Creazione e funzionamento dell'Istituto di sanità pubblica. *Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia* n. 22 del 27 gennaio 1934 (XII).
16. Regio Decreto 17 ottobre 1941-XIX N.1265. Nuova denominazione dell'Istituto di sanità pubblica e riordinamento dei ruoli del relativo personale.
17. Donelli G. Bignami G. *Breve storia dell'Istituto Superiore di Sanità dal 1934 al 1999: luci e ombre di 65 anni di attività*. In: Storia e identità di un ente di ricerca. L'Istituto Superiore di Sanità attraverso racconti e testimonianze orali. Istituto Superiore di Sanità 2011 (I beni storico-scientifici dell'Istituto Superiore di Sanità, Quaderno 8). http://www.iss.it/binary/publ/cont/quaderno_8.pdf.
18. Notizie varie. L'Istituto di Sanità Pubblica. *La ricerca scientifica* 1934; anno V, II:390-1.
19. Notizie varie. Sulla legislazione italiana del radio e delle sostanze radioattive, e su quella delle radiocomunicazioni e radiodiffusioni. *La ricerca scientifica* 1939; anno V, II:976.
20. Ianniello M.G. *Orso Mario Corbino (1876-1937)*. In: Museo del Dipartimento di Fisica. Università "La Sapienza" Roma. <http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/corbino.html>.
21. Trabacchi G.C. L'energia del nucleo atomico e la sua utilizzazione. *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanità* 1945; VIII:381-98.
22. Risa S., Masi R., Grisanti G., Melfi A. *Preparati di radio distribuiti dall'Istituto Superiore di Sanità agli ospedali italiani: conclusione della fase di inventario*. In: Atti del Convegno Nazionale di Radioprotezione "Cinquantenario AIRP: Storia e prospettive della radioprotezione", Pisa 4-6 giugno 2008, pp.183-191.
23. Dorikens M. *100 Years of radium: the complex history of an element. Lecture given on 2 April 1998 on the occasion of the presentation of the Sarton Medal*. Gent 1998. Mededelingen Van Het. Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen. Universiteit Gent.

24. Radium Belge (Union Minière Du Haut Katanga). *Radium. Production - Propriétés Générales - Son application en thérapeutique. Appareils.* Bruxelles. 1925. p. 50.
25. Coursey B.M., Collé R., Coursey J.S. Standards of radium-226: from Marie Curie to the International Committee for Radionuclide Metrology. *Appl. Radiat. Isot.* 2002;56:5-13.
26. ISS. Laboratori di Fisica. *The Physics Laboratory at the Istituto Superiore di Sanità.* Roma, 31 marzo 1973.
27. Marotta D. L'Istituto di Sanità Pubblica e la sua attività produttiva. *Rendiconti dell'Istituto di Sanità Pubblica* 1940;III:761-6.
28. Nota del Direttore dell'Istituto di Sanità Pubblica a E. Fermi su carta intestata del Ministero dell'Interno, del 21 ottobre 1935, con oggetto "Impiego di emanazione di Radio" protocollo n. 8250/2787.
29. Decreto Ministeriale 5 settembre 1947. Approvazione delle tabelle indicanti i prodotti e materiali igienico – sanitari sottoposti a controllo dell'Istituto Superiore di Sanità, nonché le relative tariffe. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana* n. 226 del 6 ottobre 1947.
30. Risica S., Grisanti A., Grisanti G. *Radium 226 sources: a demanding task undertaken by the Istituto Superiore di Sanità to prevent them from becoming orphan sources.* In: Proceedings of the International Conference on the Safety and Security of Radioactive Sources: Towards a Global System for the Continuous Control of Sources throughout their life Cycle. Bordeaux, France, 27 June - 1 July 2005. 2005 IAEA-CN-134, 309-312.
31. ISS. Laboratorio di Fisica. *Piano organizzativo al 15 novembre 1958.*
32. Chiozzotto M., Di Nunzio G., Grisanti A. Apparecchio semiautomatico per il controllo dei preparati di radio. *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanità* 1961;XXIV:858-70.
33. Castellani Poli G. *Fattori di correzione per la calibrazione di preparati di radio.* Rapporto dei Laboratori di Fisica. Istituto Superiore di Sanità. ISS 64/2, 18 Febbraio, Roma. p. 35.
34. Ministero della Sanità. Direzione Generale dei servizi di Medicina Sociale. Circolare n.8 del 24 gennaio 1961 con oggetto "Ricognizione di preparati radiferi", protocollo N. 540/20300.91/AG/R.4 = 8.
35. Grisanti A., Tori P. Controllo dell'ermeticità dei preparati di radio per uso terapeutico. *Ann. Ist. Super. Sanità* 1970;6:376.
36. Grisanti A. *Controllo della ermeticità dei preparati di radio per uso terapeutico.* Rapporto dei Laboratori di Fisica. Istituto Superiore di Sanità. ISS 63/24, 15 Marzo 1963. p. 9.
37. Ministero della Sanità, Divisione Generale Servizi Medicina sociale - Divisione V. Circolare n. 164 del 27 ottobre 1965, protocollo N. 540/20300.91/AG/R.4/8.
38. Grisanti A., Tori P. *Risultati di misure di controllo di ermeticità di preparati di radio per uso terapeutico.* In: Atti del XVI Congresso Nazionale della Associazione Italiana di Fisica Sanitaria e di Protezione contro le Radiazioni. Firenze 24-26 settembre 1970, (R. Renzi ed.) 1970: 687-92.

39. Fermi E. Prospettive di applicazioni della radioattività artificiale. *Rendiconti dell'Istituto di Sanità Pubblica* 1938;I:421-32.
40. Amaldi E., Bocciarelli D., Rasetti F., Trabacchi G.C. Generatore di neutroni a 1000 kilovolt. *La ricerca scientifica* 1939; anno X:623-32.
41. Amaldi E., Bocciarelli D., Rasetti F., Trabacchi G.C. L'impianto generatore di neutroni a 1000 kilovolt dell'Istituto di Sanità Pubblica. *Rendiconti dell'Istituto di Sanità Pubblica* 1940; III:201-16.
42. Grandolfo M. *La fisica e la tecnologia nell'Istituto Superiore di Sanità*. In Atti del Seminario "L'Istituto Superiore di Sanità e la tutela della salute". Roma 26 marzo e 9 aprile 2001. A cura di M.C. Barbaro e C. Bedetti, Istituto Superiore di Sanità ed. Roma 2001, p. 21-9.
43. Majorana Q. La scoperta della radioattività ed il successivo progresso scientifico. *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanità* 1946;IX:725-61.
44. Ageno M., Chiozzotto M., Querzoli R. Nuova sistemazione dell'impianto acceleratore a 1100 Kv. dell'Istituto Superiore di Sanità. *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanità* 1951;XIV:509-29.
45. Chiozzotto M., Querzoli R. Modifiche apportate al voltmetro a generazione dell'impianto a 1100 Kv. *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanità* 1951; XIV:460-6.
46. Verbale N.12, della riunione del 4 giugno 1980, della Commissione acquisti e vendite ex art. 23 della legge 591 del 7 agosto 1973.
47. Invito speciale raccomandato prot. N. 4557/Sap. 10/c del 17/2/1981 che indice una licitazione privata per la vendita dell'acceleratore di particelle del tipo Cockcroft-Walton progettato da Enrico Fermi.
48. Repubblica Italiana. Ministero della Sanità. Istituto Superiore di Sanità. Contratto per la vendita di un "acceleratore di particelle Cockcroft-Walton completo di accessori". Reg. N. 1761 Fasc. n. 1309.