

RICORDI E NOSTALGIE DEL LABORATORIO DI FISICA DELL'ISS

Ugo Amaldi

LA PRIMA VISITA AL LABORATORIO

In un pomeriggio dell'inizio del 1957 Mario Ageno entrò nel laboratorio dell'Istituto Guglielmo Marconi, alla Sapienza, mentre stavo facendo misure sull'apparato che avevo montato – sotto la direzione di Lucio Mezzetti – per la mia tesi di laurea. Da molti anni lavorava al Laboratorio di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), a pochi passi dalla cittadella universitaria. Lo conoscevo come amico di mio padre Edoardo e, quando lo incrociavo nei corridoi, lo salutavo rispettosamente; ma la sua entrata mi colse di sorpresa. Dopo avermi chiesto cosa stessi misurando giunse la domanda: sarei andato a lavorare, dopo la laurea, all'ISS?

Risposi positivamente all'invito di andare a trovarlo nel suo ufficio, perché da qualche tempo mi ponevo il problema di come entrare nel mondo della fisica senza rimanere nell'ombra di Edoardo Amaldi, allora Direttore dell'Istituto di Fisica e molto presente in tutti gli enti di ricerca nazionali e internazionali, dall'INFN e il CNEN al CERN. Nel 1952, contrario alla mia iscrizione al corso di laurea in fisica per le difficoltà che avrei incontrato a costruirmi un percorso indipendente, mi diceva “Ugo, la biologia sta esplodendo”. Molti anni dopo la mia iscrizione a fisica la domanda di Ageno non poteva che avere dunque una risposta positiva.

Ricordo anche con grande precisione la prima visita al Laboratorio di Fisica, con l'aiuto di Anna Maria Pontillo, segretaria di Ageno.

Non era la prima volta, però, che entravo nell'Istituto Superiore di Sanità. Mio padre mi ci aveva portato in due occasioni quand'ero solo un ragazzo. Una di queste visite è documentata da un testo che conservo ancora, un tema delle scuole medie dal titolo “Ho assistito

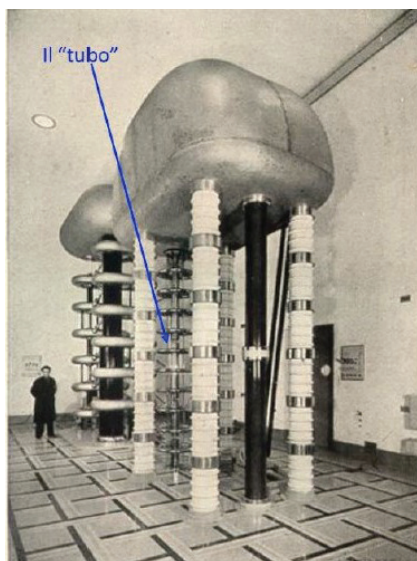


Figura 1 - Il “tubo”, cioè il Cockcroft-Walton da 1 MeV dell’Istituto Superiore di Sanità.

al lavoro del babbo”. Scritto nel 1946, quando avevo dodici anni, l’ho riletto soltanto recentemente e ho deciso di riprodurlo qui in nota¹ perché descrive il mio primo incontro con un laboratorio di fisica.

Nella Figura 1 è riprodotta una foto del “tubo”² acceleratore dell’ISS, estratta dal libro *Alchimia del tempo nostro*, pubblicato da Ginestra Amaldi e Laura Fermi nel 1937 e aggiornato dalla mamma, anche con questa figura, in un’edizione del 1943.

ELETTROSINCROTRONE E METEOROLOGIA

Quando nell’aprile dello stesso anno (1957) ebbe inizio la mia borsa di studio, venni a sapere che Mario Ageno e il suo collaboratore Ruggero “Bibi” Querzoli attraversavano una grave crisi. Infatti, il

¹ Un giorno il babbo mi volle condurre con lui. Mi condusse all’istituto di “Sanità Pubblica”. Quivi mi doveva guarire i geloni con una macchina propagatrice di certe onde elettriche. Però non mi fece niente. Dopo questa cura io non volevo andarmene e allora il babbo mi condusse a vedere il milione di volt. Ma a me non bastava. In quel momento entrò un inserviente che disse al babbo che giù si stavano facendo le misure. Io ancora non ho capito che cosa voglia dire fare le misure. Vi spiegherò, però, come ho visto fare.

Prima andammo in una stanzetta piena di apparecchi in funzione e qua, su due pezzi di alluminio, venivano disposte diverse cose in rotondini. Poi si andava in una camera che era sopra quella piccola e qui gli apparecchi segnavano dei numeri che il babbo scriveva, ogni minuto, su un libro grandissimo. Così io ho visto fare le misure; ma non sarò contento fino a quando il babbo mi spiegherà in che cosa consistono.

Ma era tardi e allora il babbo mi dovette portar via. E io dovetti lasciare quella casa che mi sembrava un vero paradiso.

² Per me il vocabolo “tubo” ha un suono particolare. Infatti lo sentivo pronunciare spesso a tavola dai miei genitori in discorsi di cui non capivo il senso (1). Tanto più che questo “tubo” spesso faceva i capricci e, quando perdeva, doveva essere coperto di “sangue di pollo” (in realtà mastiche da vuoto).

giovannissimo Giorgio Salvini e il suo gruppo stavano terminando a Frascati la costruzione dell'elettrosincrotrone da 1 GeV dell'INFN, mentre la realizzazione dell'iniettore da 2 MeV – affidata al Laboratorio di Fisica dell'ISS – era in ritardo.

La scelta di commissionare il progetto dell'iniettore all'ISS era naturale, dato che, prima della guerra, Ageno, Amaldi, Bocciarelli e Trabacchi avevano costruito al sesto piano dell'Istituto il Cockcroft-Walton da 1 MeV, progettato da Fermi, Rasetti e Amaldi. Ma il sistema d'iniezione del sincrotrone, fabbricato dall'azienda milanese di prodotti elettrici Passoni e Villa, non reggeva la tensione. Si susseguirono animate discussioni telefoniche con il gruppo di Frascati e riunioni di emergenza, finché Salvini e Fernando Amman decisero di ordinare un Van de Graaff da 2,5 MeV alla ditta americana Varian Associates. L'ordine partì senza che Ageno fosse informato del cambiamento di programma; è facile immaginare la sua reazione e le tensioni che si crearono con Querzoli che, secondo quanto capii dopo, era invece stato avvertito.

Di queste vicende fui soltanto spettatore, perché non ero coinvolto nella costruzione dell'iniettore; Ageno mi aveva, infatti, assegnato un compito specifico: disegnare le lenti magnetiche della linea di fascio, che dovevano focalizzare il fascio d'elettroni, prodotto dall'iniettore, guidandolo sotto vuoto fino al deflettore elettrostatico che lo avrebbe "iniettato" nel sincrotrone (Figura 2). Ricordo

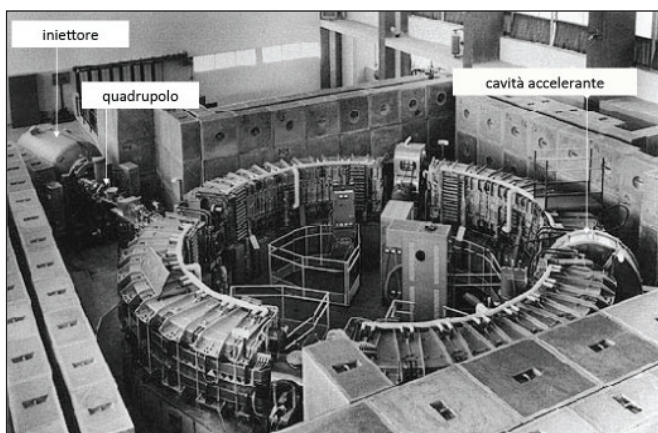


Figura 2 - La linea d'iniezione dell'elettrosincrotrone di Frascati, con indicato il quadrupolo, la cui realizzazione, insieme a una "lente a mantello", costò tanta fatica.

che mi mise in mano una copia del famoso articolo del 1953 di Courant, Livingston e Schneider (2), dove veniva proposta la tecnica del focheggiamento forte e, in particolare, l'uso di quadrupoli per focalizzare le particelle cariche veloci. Penai moltissimo a capirne le formule e a trasformarle nel disegno di un quadrupolo, che fu poi costruito nelle officine del Laboratorio di Fisica in mia assenza poiché a settembre dovetti partire per il servizio militare (3).

Per il servizio militare, come fisico, fui inviato a seguire il corso di meteorologia della Scuola di Guerra Aerea di Firenze. Prima della mia partenza Mario Ageno mi aveva detto che l'editore Boringhieri gli aveva chiesto di tradurre *Elementary Nuclear Theory* di Hans Bethe e Philip Morrison; non avendo tempo di occuparsene, aveva indicato alla casa editrice il mio nome. Dedicai numerose serate fiorentine a questo compito, che mi permise d'imparare molto e che avanzò rapidamente.

I docenti erano ottimi e mi fecero apprezzare un altro tipo di fisica. In particolare seguii alcune belle lezioni dell'allora Tenente Colonnello Giorgio Fea, comandante del corpo, che mi diede in seguito l'opportunità di collaborare a un'interessante attività. Infatti, Fea mi convocò a Roma per partecipare a un'importante iniziativa del Ministero degli Interni. All'epoca, fine degli anni '50, le potenze nucleari testavano le bombe atomiche in atmosfera e il materiale radioattivo volatile si depositava, dopo qualche giorno, sul suolo di altri paesi, tra cui l'Italia. Quando Fea mi coinvolse, una dozzina di stazioni meteorologiche per il prelievo della radioattività atmosferica erano in fase di installazione, distribuite su tutto il territorio nazionale.

Durante la notte molti metri cubi d'aria erano fatti passare, con l'ausilio di una pompa, attraverso un filtro di carta assorbente che aveva un diametro di circa tre centimetri; la mattina seguente il filtro, che catturava le polveri sottili, talvolta debolmente radioattive, era montato sotto un contatore di Geiger che misurava la radioattività. Al Ministero dell'Aeronautica sviluppai il metodo analitico che permetteva di calcolare dai dati misurati per molte ore il valore della radioattività per metro cubo d'aria correggendo per l'effetto della radioattività naturale (in particolare dei prodotti a vita breve del radon), che decade più rapidamente.

Mi recavo all'ISS ogni volta che potevo, anche perché stavo organizzando l'esperimento di cui parlerò nel prossimo paragrafo, e

raccontavo ad Ageno i progressi del lavoro con le stazioni meteorologiche. La cosa lo interessava tanto che al mio rientro, alla fine del 1958, mi affidò l'incarico di costruire e far funzionare una stazione di prelievo e misura simile a quella dell'Aeronautica militare. La pompa fu messa sulla terrazza al sesto piano dell'edificio, accanto al mio nuovo ufficio e a una ventina di metri dal locale del "tubo" e della "camera che era sopra quella piccola". Ricordo la soddisfazione di Ageno – divenuto nel frattempo Direttore dei Laboratori di Fisica – quando un giorno osservammo un picco di radioattività dovuto a un test nucleare sovietico, avvenuto qualche giorno prima e non annunciato dalla stampa: ne informò subito il Direttore Domenico Marotta e questi il Ministro della Sanità.

NON-CONSERVAZIONE DELLA PARITÀ, ANTIPROTONI E UN PO' DI TEORIA

Con Bibi Querzoli, Giorgio Cortellessa e gli ospiti presenti in Istituto si andava a metà mattinata a prendere il caffè in un bar che distava duecento metri dal cancello posteriore dell'ISS. Gli argomenti di conversazione riguardavano non soltanto la fisica ma anche la biologia, che da qualche anno interessava in modo particolare Ageno tanto che in un suo lavoro propose per il DNA un modello alternativo a quello di Crick e Watson. Un tema che occupò molti caffè fu la sconvolgente proposta della non-conservazione della parità nei decadimenti deboli, proposta nel 1956 da Yang e Lee (4); Mario Ageno portava sempre argomenti profondi e sottili nella discussione dei relativi esperimenti, ma ero confuso e – come molti – riuscii ad adattarmi soltanto molto lentamente all'idea che "Dio è mancino"...

Queste discussioni ci prepararono alla visita di Sergio De Benedetti, un fisico torinese amico di Ageno, che era professore al Carnegie Institute of Technology (Pittsburgh, Pennsylvania). Non sono riuscito a ricostruire la data ma ricordo che, parlando di fisica nucleare e avendo saputo che avevamo in Laboratorio un potente magnete, propose la misura di un effetto ancora inesplorato in cui si sarebbe manifestata la non-conservazione della parità: la polarizzazione dei fotoni emessi in un decadimento beta proibito. Era già noto che gli elettroni emessi nei decadimenti permessi hanno

polarizzazione massima, ma sarebbe potuto accadere – anche se a priori era improbabile – che i decadimenti proibiti si comportassero diversamente. Fu De Benedetti, se ricordo bene, a suggerire di usare il tallio-204, che ha una transizione proibita tra stati i cui momenti angolari differiscono di due unità.

All'esperimento si aggiunsero tre giovani fisici torinesi, che però non poterono contribuire molto a causa della distanza. L'apparato (Figura 3) fu costruito dall'efficientissima officina del Laboratorio diretta da Renato Berardo.

Agno mi aiutò a scrivere in inglese il lavoro, il mio primo lavoro scientifico, che non ho mai dimenticato come non si dimentica il primo amore e la sua prima delusione. Questa venne quando, prima di completare il lavoro, apparve su *Physical Review* – a firma di un certo H. Schopper – un lavoro molto simile (5). Fu un brutto colpo ma, ovviamente, citammo il lavoro nella pubblicazione sul *Nuovo Cimento* (6). Schopper divenne molti anni dopo Direttore di DESY ad Amburgo e nel 1980 fu chiamato a dirigere il CERN, ove ottenne l'approvazione del Large Electron Positron collider (LEP); diventammo amici e mi aiutò molto quando fui spokesperson di DELPHI dal 1981 al 2003 (7). Questo accadde dopo il mio passaggio, nel 1973, dall'ISS al CERN.

Mario Agno incoraggiava i suoi giovani collaboratori a lavorare per un paio d'anni fuori dall'Istituto. Così, poco dopo l'esperienza del tallio-204, passai due anni al CERN come borsista entrando a far parte del gruppo diretto da Giuseppe Fidecaro nel settembre del 1961, tre mesi dopo aver sposato Clelia Salomone.

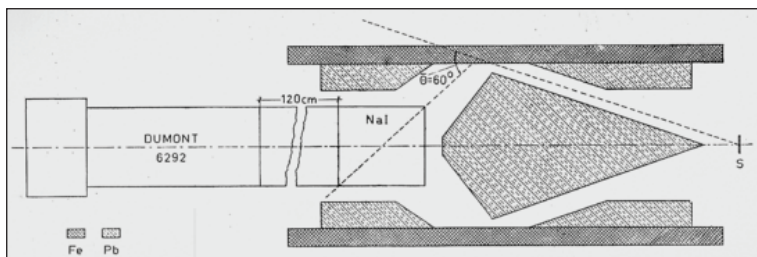


Figura 3 - L'apparato per la misura della polarizzazione dei fotoni prodotti dal tallio-204, lungo sessanta centimetri.

A Ginevra, dove nacque la nostra prima figlia Iris, andai seguendo l'esempio di Armando Reale, che era entrato in Istituto un paio d'anni prima di me; Armando lavorava nel gruppo diretto da Bernard Hyams e si trovava molto bene a Ginevra con sua moglie Anna Scafati. Prima di lui Giorgio Cortellessa – che Armando ed io consideravamo un “senior” dei Laboratori – era stato a Cornell ed era rientrato conoscendo le tecniche che erano utili agli esperimenti da farsi al nuovo elettrosincrotrone di Frascati.

Quando rientrai in Istituto nel settembre del 1962, Ageno decise di creare in Laboratorio un gruppo di fisica delle alte energie, che avrebbe potuto occuparsi della raccolta e dell'analisi dei dati dai fotogrammi provenienti dalle camere a bolle del CERN: in questo modo non era necessario che laureati e tecnici dell'ISS trascorressero lunghi periodi a Ginevra. Come in tutti gli altri campi egli fece una scelta coraggiosa ma di troppo grande respiro rispetto al ridotto numero di ricercatori a disposizione. Il grandioso programma di lavoro fu descritto da Giorgio Cortellessa al “Congressino” INFN del 1963³. Le ambizioni erano troppo alte; i tavoli da misura, i cui disegni avevo portato da Ginevra, rimasero due e dopo l'analisi delle foto di annichilazione degli antiprotoni (9) – fatta in collaborazione con il gruppo della Sapienza diretto da Romano Bizzarri – l'attività si spense.

I vasti interessi di Mario Ageno si manifestarono anche in campi diversi dalla fisica sperimentale. Nei due anni passati al CERN con la mia famiglia – tra il settembre 1961 e la fine del 1962 – conobbi un ottimo fisico teorico di Bologna, Franco Selleri, con cui pubblicai alcuni lavori sulla produzione di pioni nella collisione protone-protone, descritta con lo scambio di un pione nell'ambito del modello “periferico”. Ageno era molto interessato, in particolare perché usammo – per calcolare la sezione d'urto elastica diffrattiva protone-protone nell'intorno del GeV d'energia – la relazione di unitarietà (10), che è un'estensione del teorema ottico, e la prima

³ Nei rendiconti del Congressino si legge: attualmente nei Laboratori di fisica “si hanno in totale due posti per la preselezione [dei fotogrammi da camera a bolle] e due posti per misura. Lo spazio a disposizione permette di aumentare i tavoli da misura fino a un massimo di otto. L'idea base dell'organizzazione dell'analisi e della misura è quella di impegnare in tale lavoro personale qualificato, tecnici di laboratorio a livello di periti nonché laureati, in turni di lavoro settimanali molto corti. Si può pensare di avere 23 persone, ciascuna delle quali lavora non più di otto ore alla settimana, per esempio in quattro turni di due ore giornaliere” (8).

prova sperimentale del teorema ottico era stata fatta da Amaldi, Cacciapuoti, Bocciarelli e Trabacchi dopo la guerra con i neutroni prodotti dal “tubo” (11).

Così, nei miei frequenti viaggi da Ginevra a Roma, tenni diversi seminari – in particolare uno molto dettagliato sui poli di Regge nel maggio del 1962 (12) – e, tra la fine del 1961 e la primavera del 1962, un corso di “Lezioni introduttive alla teoria dei campi”, cui furono obbligati a partecipare (come, del resto, accadeva con Ageno per tutti i seminari) tutti i laureati dei Laboratori. Scrissi centocinquanta pagine che, stampate in due rapporti dei Laboratori, negli anni successivi furono molto popolari tra gli studenti dell’Istituto di fisica, perché all’epoca non era disponibile un testo italiano equivalente (13). Qui non posso non ricordare l’entusiasmo e la precisione con cui Vilma Alberani seguiva la pubblicazione dei rapporti interni dei Laboratori, dalla caratteristica copertina bianca.

Al rientro a Roma ottenni facilmente il permesso di farmi assegnare due studenti laureandi per proseguire il lavoro incominciato con Selleri e calcolare le parti immaginarie delle fasi nella diffusione elastica protone-protone intorno al GeV di energia. Si trattava di un altro fronte di ricerca, e, assieme a Roberto Biancastelli e Sebastiano Francaviglia, furono scritti diversi lavori, i cui risultati sono riassunti in un articolo su *Review of Modern Physics* (14). Poi Biancastelli vinse un concorso ed entrò a far parte dei Laboratori.

COMPITI ISTITUZIONALI

Come Direttore dei Laboratori di Fisica dell’ISS Mario Ageno aveva in mente un progetto preciso e ambizioso: raccogliere intorno a sé un gruppo di ricercatori che producessero risultati di livello internazionale in (quasi) tutti i campi della fisica e, allo stesso tempo, essendo scientificamente ben preparati, fossero in grado di assolvere i compiti istituzionali dell’ISS meglio di eventuale personale laureato formato solo a questo scopo. I compiti istituzionali, all’inizio, erano legati essenzialmente alla misura e al monitoraggio delle radiazioni ionizzanti, e alla protezione di lavoratori e popolazione dai potenziali pericoli della radioattività. Ageno prescriveva che ciascuno dei ricercatori dedicatesse un terzo del proprio tempo ai compiti istituzionali affidatigli, ma in pratica, poiché eravamo in

pochi, vi erano periodi durante i quali la frazione di tempo superava il cinquanta per cento.

Il mio primo compito fu la stazione per il controllo della radioattività ambientale, di cui ho già detto. Poi nel 1964 mi disse, senza lasciarmi molta scelta, che avrebbe chiesto al Ministero della Sanità di nominarmi membro effettivo della Commissione Tecnica per la Sicurezza Nucleare e la Protezione Sanitaria dalle Radiazioni Ionizzanti, istituita presso il Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare con il DPR 185 del 13 febbraio 1964. Poco dopo Gloria Campos Venuti fu nominata membro supplente.

Gli ingegneri del CNEN erano bravissimi e competenti, ma favorivano gli aspetti di sicurezza dei reattori nucleari rispetto alla protezione delle popolazioni circostanti, sia durante il funzionamento normale sia in caso d'incidente, mentre il fuoco dei nostri interessi era diverso. Dovemmo quindi studiare molto, leggendo essenzialmente rapporti e libri americani e inglesi, e crearci competenze in campi diversi, in modo da poter difendere nelle riunioni più che mensili della Commissione Tecnica i nostri punti di vista, che elaboravamo discutendone con Ageno.

Tra le mie carte ho trovato un gran numero di relazioni tecniche preparate in Laboratorio e inviate al Ministero: alcune di queste, assieme ad altre di epoche successive, si possono trovare nella bibliografia del capitolo di questo Quaderno dedicato alla valutazione del rischio nella produzione di energia.

Le molte firme che caratterizzano queste relazioni testimoniano del progressivo allargamento del gruppo di esperti: nel 1971 fu nominato membro effettivo della già citata Commissione Tecnica Luciano Maiani, quando io – trascorsi ormai nove anni dal mio rientro a Roma – lasciai temporaneamente i Laboratori per un contratto di Visiting Scientist al CERN. Posso dire che – leggendo molto e discutendo anche animatamente – diventammo competenti; negli anni 1971-1973 pubblicammo sugli *Annali* dell'Istituto due lunghi articoli che descrivono le problematiche e le soluzioni adottate (15, 16). Nel primo, presentando i criteri di scelta dell'ubicazione delle installazioni nucleari all'estero e in Italia, proponevamo un'oculata estensione delle tecniche usate per valutare la pericolosità degli impianti nucleari ad altri impianti industriali convenzionali ma potenzialmente pericolosi per le popolazioni. Alla fine del secondo

sottolineavamo l'incongruenza di un CNEN che era allo stesso tempo promotore dell'energia nucleare e suo controllore; anni dopo fu posto rimedio a questa anomalia.

Tra tutte le conoscenze acquisite e le belle esperienze fatte durante il periodo in cui mi sono occupato di radioprotezione delle popolazioni, ricordo molto bene il primo arrivo in Italia della turbonave statunitense a propulsione nucleare Savannah. Ageno voleva che i Laboratori facessero una bella figura e quindi guidò personalmente l'operazione e m'invio a Napoli a partecipare alle riunioni con le autorità locali per preparare le misure da fare, in acqua e aria, prima durante e dopo l'entrata in porto.

ELETTRONI CONTRO NUCLEI ED ELETTRONI

Riprendendo i temi scientifici, torno al 1962. Al CERN avevo lavorato, sperimentalmente e teoricamente, sulle interazioni forti. Il ritorno alla Sanità mi portò – un po' casualmente e dopo la parentesi dedicata alle camere a bolle – a occuparmi di fenomeni dovuti alle interazioni elettromagnetiche.

Nella primavera del 1963 invitai a tenere un seminario lo svedese Torleiv Ericson, ben noto fisico teorico del CERN, che avevamo conosciuto e frequentato con Clelia a Ginevra poiché avevamo figli della stessa età. Tra l'altro lo accompagnai a visitare l'elettrosincrotrone di Frascati e, mentre salivamo in macchina verso i Castelli Romani, Torleiv mi descrisse un lavoro pubblicato da due fisici brasiliani (17) che avevano proposto di studiare l'estrazione quasi-elastica di elettroni dai nuclei attraverso la reazione ($e, e'p$), analoga alla reazione ($p, 2p$) allora all'avanguardia nello studio degli stati legati dei protoni nei nuclei. Si trattava di una reazione particolarmente semplice perché, a causa della debolezza dell'interazione elettromagnetica, il fenomeno poteva essere molto ben descritto come una diffusione "quasi-libera" e trattato teoricamente con l'approssimazione impulsiva in modo da ricavare, dalle misure, la distribuzione della quantità di moto che il protone – di una ben definita energia di legame – aveva nel nucleo prima della collisione con l'elettrone. Al ritorno ne parlai immediatamente con Mario Ageno perché avevo visto la possibilità di un'attività sperimentale nuova da sviluppare a Roma e Frascati – e non al CERN – in fisica dei nuclei, un campo nel quale i Laboratori avevano una grande tradizione.

Un tale esperimento non era mai stato fatto perché tutti gli sperimentatori avevano usato acceleratori lineari di qualche decina o centinaia di MeV, che sono accesi soltanto per un millesimo del tempo. Con un così piccolo tempo vivo non è possibile osservare le coincidenze tra gli elettroni diffusi e i protoni estratti a causa dell'enorme numero di coincidenze casuali. Il tempo vivo di un sincrotrone è invece del 10% circa e il tasso di coincidenze casuali avrebbe potuto risultare accettabile. Pertanto, misurando le energie dell'elettrone diffuso E e del protone estratto dal nucleo T si sarebbe potuto calcolare l'energia di legame del protone prima della collisione.

Con Giorgio Matthiae, da poco entrato in Laboratorio dopo una tesi che avevo seguito per conto di Ageno, studiammo la dinamica del processo e gettammo le basi del primo esperimento, da eseguire utilizzando il fascio di elettroni interno al sincrotrone di Frascati. I conti furono fatti usando il calcolatore IBM 7040 fortemente voluto da Ageno e installato e gestito da Gino Farchi e collaboratori (si veda il capitolo sul Calcolo elettronico). La cinematica dell'estrazione di un protone legato in un nucleo è mostrata nella Figura 4a.

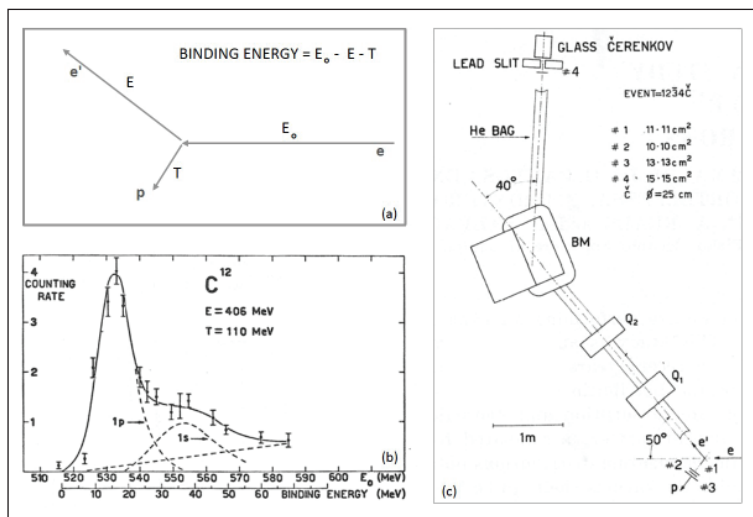


Figura 4 - (a) Nella cinematica dell'urto quasi-libero T è l'energia cinetica del protone. (b) La distribuzione mostra chiaramente l'estrazione dei protoni dagli strati $1s$ e $1p$ del nucleo di carbonio. (c) I contatori 1, 2 e 3 misurano il percorso dei protoni e quindi T .

Si costituì così un nuovo gruppo di ricerca con Giorgio Matthiae, rientrato a Roma dopo la sua borsa di studio biennale al CERN, e i membri del Reparto di Fisica delle Alte Energie diretto da Giorgio Cortellessa. L'esperimento era delicato e fummo fortunati perché in alcuni esperimenti fummo aiutati da Peter Hillmann, noto fisico nucleare che trascorse a Roma un anno sabatico.

A causa dell'elevato flusso di elettroni che attraversava il bersaglio sottile di carbonio incontrammo non poche difficoltà a far funzionare il telescopio di contatori a scintillazione (Figura 4c) che rivelavano il protone estratto da un sottile fogliolino di carbonio da uno degli elettroni del fascio da circa 500 MeV circolante nel sincrotrone; questi tre contatori si trovavano a una ventina di centimetri dal bersaglio *interno*⁴. I risultati (18) mi portarono a fare, nel 1965, una serie di seminari negli Stati Uniti: Cornell, MIT, Lawrence Livermore National Laboratory, Berkeley e Stanford.

Questi primi esperimenti furono completati con misure fatte sul fascio esterno di elettroni del sincrotrone cosicché pubblicammo, nella primavera del 1967, un lavoro (19) che, nel mondo della fisica dei nuclei, ebbe una notevole risonanza. Le distribuzioni angolari dell'elettrone diffuso e del protone estratto dal nucleo, se misurati in coincidenza e con precisione, permettono, infatti, la ricostruzione delle distribuzioni di probabilità dei protoni legati negli stati 1s e 1p del nucleo di carbonio. La cinematica è mostrata nella Figura 5a: misurando le quantità di moto dell'elettrone iniziale, dell'elettrone finale e del protone si ricava il vettore q , quantità di moto del protone strappato dall'elettrone al nucleo.

Lo speciale odoscopio di scintillatori costruito nel nostro laboratorio è mostrato nella Figura 5b. Denys Haigh Wilkinson, uno dei maggiori fisici nucleari dell'epoca, scrisse anni dopo che i risultati della Figura 5c e 5d erano *"the most direct proof of the validity of the nuclear shell model"* (20).

In una serie piuttosto lunga di esperimenti commettemmo anche qualche errore e questo fu per me salutare nelle mie successive attività sperimentali perché mi rese consapevole dell'importanza degli errori sistematici. In particolare pubblicammo un lavoro nel quale interpretavamo i dati raccolti sul calcio-40 affermando che

⁴ Per questo lavoro ricevetti nel 1965 il premio Grimaldi della Società Italiana di Fisica.

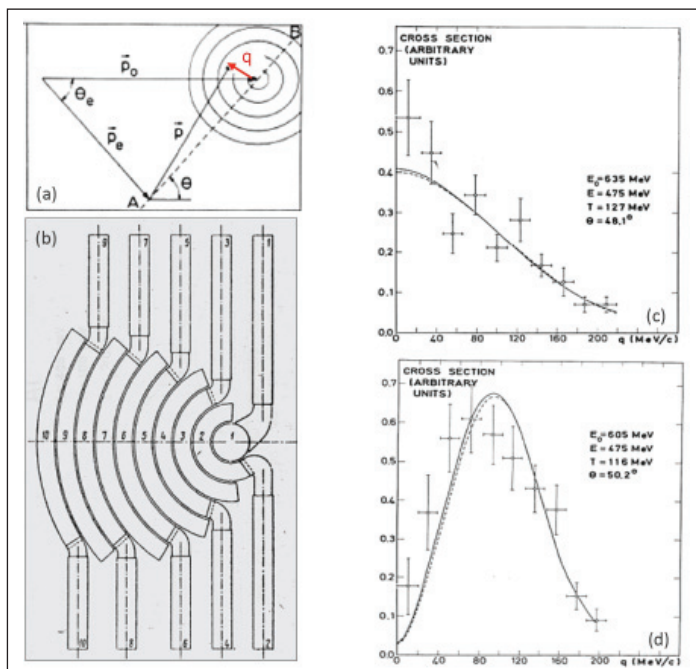


Figura 5 - (a) Dalla cinematica del processo si ricava la quantità di moto iniziale q del protone nel nucleo. (b) Dieci scintillatori concentrici misuravano protoni che avevano quantità di moto iniziali q crescenti. (c, d) Distribuzioni della quantità di moto q quando l'energia di legame del protone estratto corrisponde a uno stato 1s (c) e 1p (d) del nucleo di carbonio 12.

l'energia di legame dei protoni dello stato 1s era di (77 ± 14) MeV (21), mentre otto anni dopo un gruppo giapponese ottenne (58 ± 3) MeV in un esperimento con errori sistematici meglio controllati e maggiore statistica (22).

Un giorno, mentre eravamo immersi nello studio della diffusione “quasi-libera” di elettroni su protoni legati in un nucleo, mi venne in mente che una reazione analoga sarebbe dovuta avvenire in un atomo. Poiché la reazione che stavamo studiando sui nuclei si chiamava $(e, e'p)$, chiamai subito $(e, 2e)$ la reazione su atomi. Dopo qualche ora di ricerca in biblioteca dovetti arrendermi al fatto, veramente sorprendente, che tali ovvi esperimenti – nei quali i due elettroni uscenti devono essere osservati in coincidenza misurandone le energie – non erano *mai* stati fatti, nonostante la diffusione di

elettroni su atomi fosse stata studiata in *migliaia* di esperimenti. In un solo lavoro alcuni teorici russi avevano proposto questa reazione atomica (23).

Una reazione quasi-libera è determinata dalla quantità di moto che le particelle bersaglio – protoni nella reazione $(e, e'p)$ ed elettroni nella reazione $(e, 2e)$ – hanno prima della collisione con l'elettrone incidente. Le quantità di moto medie sono fissate dal principio d'indeterminazione a partire dal diametro del volume nel quale le particelle bersaglio si muovono. Applicando questo principio si calcola facilmente che per le reazioni $(e, 2e)$ le energie dell'elettrone incidente devono essere dell'ordine dei keV, anziché delle centinaia di MeV necessari per lo studio delle reazioni quasi-elastiche $(e, e'p)$ nei nuclei, che sono diecimila volte più piccoli degli atomi.

Non avendo alcuna esperienza di rivelazione di elettroni di qualche keV d'energia, andai a discuterne con Guido Pizzella che, all'Istituto di Fisica della Sapienza, costruiva rivelatori elettrostatici sferici per la rivelazione degli elettroni delle radiazioni cosmiche. Guido capì subito l'interesse della proposta e mi mise a disposizione due deflettori elettrostatici e due “channeltron”, gli strumenti adatti a rivelare elettroni di così bassa energia (gli elettroni iniziali avevano 14,6 keV d'energia cinetica). All'Istituto di Fisica la costruzione della camera da vuoto e della meccanica richiese parecchio tempo, ma poi la messa a punto dell'elettronica, con l'aiuto di Egidi e Marco-nero – storici collaboratori di Pizzella – e le misure furono più facili di quanto non pensassi; il lavoro che ne risultò ci parve da subito importante (24). Con Claudio Ciofi degli Atti pubblicammo anche un lavoro teorico sull'argomento (25).

Guido Pizzella insistette per pubblicare il lavoro sperimentale su una rivista americana di tecniche di laboratorio anziché su una rivista di fisica, ed io purtroppo mi lasciai convincere. Nonostante questo, quell'articolo ebbe presto una buona risonanza ed è da tutti considerato uno dei due lavori sperimentali che hanno aperto una nuova linea di ricerca in fisica atomica, quella che oggi si chiama *electron momentum spectroscopy* perché dalla misura di precisione delle energie (Figura 6) dei due elettroni finali nelle reazioni $(e, 2e)$ si ricava la distribuzione tridimensionale della quantità di moto degli elettroni legati in stati ben definiti di atomi e molecole (26).

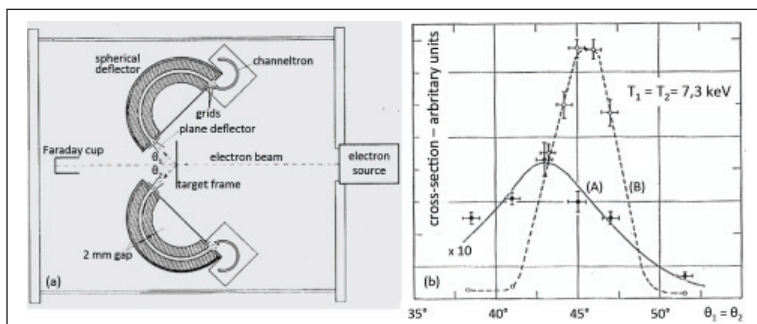


Figura 6 - (a) L'apparato per la misura delle energie cinetiche T_1 e T_2 dei due elettroni finali della reazione ($e, 2e$) era lungo circa un metro. (b) La curva continua (A) rappresenta la distribuzione angolare calcolata per gli elettroni estratti dallo strato K dell'atomo di carbonio.

Negli anni successivi Rossana Camilloni e Gianni Stefani, studenti alla Sapienza, svilupparono la tecnica lavorando in Istituto con me alle loro tesi di laurea modificando e perfezionando l'apparato che avevo trasportato dall'Istituto di Fisica⁵.

LA VITA ACCADEMICA, IL TRATTATO "FISICA DELLE RADIAZIONI" E L'AVVENTURA DI ADONE

Dal punto di vista accademico, dal 1957 fui – come tutti i giovani laureati dei Laboratori – “assistente volontario” presso la cattedra di Fisica che Ageno aveva presso la Facoltà di Medicina della Sapienza. Due o tre volte l'anno facevamo gli esami orali ai futuri medici, per lo più tremebondi perché la Fisica – studiata sul bellissimo “Ageno” (28) – era l'ostacolo più duro del primo biennio. Il voto era poi discusso con lui che, per la lode, faceva un'altra domanda. Nei

⁵ Poiché avevo deciso di tornare a lavorare in fisica delle particelle, parlai di questa promettente linea di ricerca ad Anna Giardini – mia collega di Università – che allora lavorava al CNEN; la convinsi a costituire presso i laboratori di Frascati un gruppo di ricerca dedicato a quest'attività. Fu una scelta molto felice perché Anna Giardini è persona competente e molto determinata e potette assicurarsi il contributo di Camilloni e Stefani, che nel frattempo erano stati assunti dal CNR. Il loro lavoro, pubblicato nel 1972, è considerato la prima applicazione quantitativa dell'*electron momentum spectroscopy* all'atomo di carbonio (27). Fu questo l'inizio di tre splendide carriere nel campo della fisica atomica, in Italia sino ad allora centrata su vecchie problematiche.

decenni successivi ho incontrato molti di quegli studenti e mi sono reso conto di una correlazione molto stretta: i medici rivelatisi professionalmente bravi avevano tutti passato quell'esame con 27/30 o più, magari dopo un primo smacco; non ho però informazioni circa la sorte dei bravi in Fisica che poi hanno fallito come medici.

Nel 1962, appena rientrato a Roma da Ginevra, Mario Ageno mi chiese se ero disposto a riprendere il corso di Fisica delle radiazioni che da qualche anno teneva alla Scuola di Perfezionamento in Radiologia diretta da Luigi Turano, straordinario barone universitario. Accettai immediatamente e, dopo un paio d'anni iniziai a pubblicare nei rapporti dei Laboratori i capitoli del mio corso, in tutto una dozzina. Quando gli ultimi capitoli furono completati Ageno scrisse alla Boringhieri, che immediatamente si propose di pubblicare il volume ma chiese, trattandosi di un tomo di 600 pagine, che le venisse consegnato un testo battuto a macchina e completo di figure. La battitura fu fatta da Franca Grisanti e le figure furono diseguate con grande precisione da Alessio Camuso e Luigi Pierangeli. Il libro uscì nel 1971 (29), quando stavo arrivando al CERN con un contratto da "Research Associate" della durata di un anno.

Sul fronte della ricerca scientifica, nel 1967 ricevetti una telefonata da Bruno Touschek: mi disse che era molto preoccupato perché, sotto la direzione di Fernando Amman, la costruzione di Adone (il collisore elettrone-positone da 1,5 GeV+1,5 GeV che era il "figlio maggiore" di AdA, l'anello di accumulazione da lui stesso inventato) andava avanti bene ma non vi erano giovani che si volessero impegnare a proporre esperimenti e a prepararli in tempo. La proposta mi fece molto piacere e così, con Giorgio Matthiae – rientrato da due anni di borsa al CERN nel gruppo di Aldo Micheli – proponemmo di studiare la produzione di coppie K^+K^- nell'intorno dell'energia a cui sono prodotte particelle Φ a riposo, e cioè a $0,51 \text{ GeV} + 0,51 \text{ GeV} = 1,02 \text{ GeV}$, che è proprio la massa della Φ .

L'apparato era delicato ma non molto complicato; tuttavia la sezione d'urto di produzione delle coppie di "kaoni" era all'epoca non ben nota per l'effetto dell'irraggiamento di quanti da parte dell'elettrone e del positone che si annichilavano. Calcolai quindi le cosiddette "correzioni radiative" utilizzando le formule date in un lavoro da poco uscito.

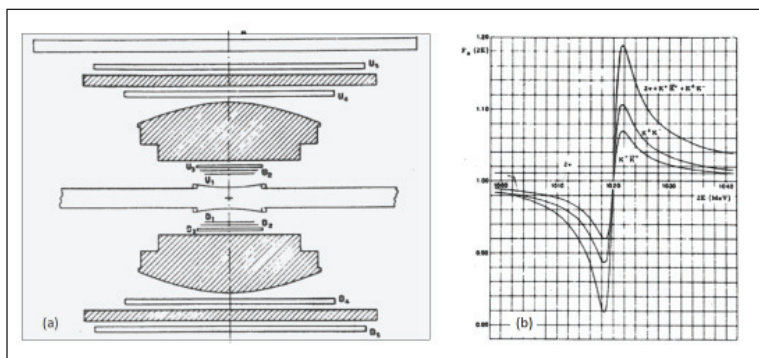


Figura 7 - (a) L'esperimento di Adone come è descritto negli atti del *Symposium sur les Anneaux de Collisions* (Saclay, 1966). (b) Andamento della sezione d'urto calcolata tenendo conto delle correzioni radiative.

Andai da Bruno Touschek che, essendo un grande esperto di correzioni radiative, mi chiese: “Come le hai calcolate?”. Risposi “Ho applicato il metodo di Kessler” riferendomi a un lavoro pubblicato da poco dal teorico francese Paul Kessler. “Io di Kessler conosco soltanto le gemelle” fu la sua bruciante risposta. Infatti, aveva lui stesso sviluppato un metodo molto intuitivo che usava come parametro la costante di struttura fine che, opportunamente normalizzata, vale 0,07 e che Bruno chiamava “Bond factor” in onore del famoso agente James Bond. Le correzioni che avevo calcolato erano giuste, ma l'esperimento (Figura 7) non si fece mai, nonostante l'apparato fosse montato su una zona d'intersezione di Adone già dal primo giorno in cui circolarono i fasci.

Infatti, ad Adone fu scoperto un nuovo fenomeno legato all'interazione del fascio di elettroni con il fascio di positroni, che ora è ben compreso ma che fu una grande sorpresa per tutti gli esperti di anelli di accumulazione. Questo effetto riduceva grandemente la “luminosità” del collisore alle basse energie, in particolare intorno al GeV ove le particelle Φ sono prodotte. Dopo circa un anno di attesa, in un triste giorno, che ben ricordo, Giorgio Matthiae ed io iniziammo a smontare l'apparato, con l'aiuto dei tecnici del Laboratorio, dopo aver chiesto a Giuseppe Cocconi di accettarci come collaboratori nell'esperimento che il suo gruppo stava già conducendo al protosincrotrone (PS) del CERN; era l'autunno del 1969.

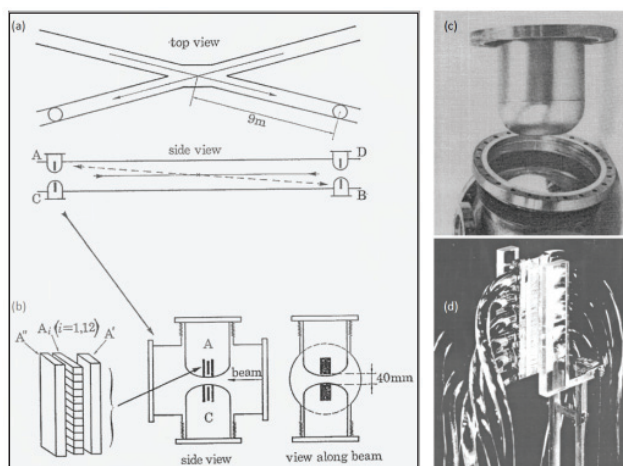


Figura 8 - (a) La zona di interazione degli Intersecting Storage Rings dove erano montati i “Roman Pots”. (b) Due Roman Pots mobili montati uno sopra l’altro a pochi millimetri di distanza dal fascio circolante di protoni da molte decine di amper. (c, d) Fotografie di un Roman Pot e di un insieme di scintillatori.

Quest’episodio ha avuto un’enorme influenza sul futuro di entrambi. Viaggiavamo tra Roma e Ginevra per prendere parte ai turni e all’analisi, scontentando Ageno che ci avrebbe voluto molto più presenti in laboratorio ma mettendoci in contatto con i nuovi programmi del CERN. In particolare Giorgio ebbe l’idea di proporre – per il futuro collisore ISR (Intersecting Storage Rings) – un esperimento di diffusione protone-protone a piccolissimi angoli.

Egli presentò l’esperimento al Comitato sperimentale degli ISR; dopo la sua approvazione, il gruppo di Cocconi, da sempre interessato a questi temi, si associò al nostro gruppo costituendo la “CERN-Rome collaboration”. Il primo apparato fu costruito nei nostri Laboratori e i successivi al CERN; questa volta acceleratore e strumenti (Figura 8) funzionarono molto meglio delle attese.

La scoperta, fatta nel 1973, del fenomeno delle sezioni d’urto adroniche che aumentano con l’energia, della cui analisi ero responsabile (30), fu seguita da un’offerta di contratto di Senior Physicist al CERN, che m’indusse a lasciare i Laboratori e trasferirmi con Clelia e i quattro bambini a Ginevra.

LA SEZIONE SANITÀ DELL'INFN

Nel 1968 Ageno mi informò che sarei diventato il Direttore della Sottosezione Sanità dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Fu anche questa un'esperienza molto positiva perché permise ai ricercatori dei Laboratori di integrarsi nella grande famiglia dei ricercatori italiani che s'interessavano di fisica nucleare e subnucleare, con la nascita di sinergie al di fuori dei temi di ricerca pura. Tutte le altre Sezioni erano localizzate in Istituti e Dipartimenti Universitari e noi, che ci occupavamo anche di energia nucleare in stretto contatto con il CNEN, rappresentavamo un'utile propaggine di quest'ampia comunità.

Fino alla presidenza di Claudio Villi, al termine di ogni anno si riuniva una Commissione *ad hoc* per distribuire i finanziamenti ai gruppi che ne facevano richiesta per l'anno successivo. Villi propose, e fece approvare dal Consiglio, la costituzione delle Commissioni Nazionali permanenti, formate da rappresentanti di tutte le Sezioni. L'innovazione introdotta da Villi fu un successo e ancora oggi le Commissioni, divenute struttura scientifica portante dell'INFN, funzionano molto bene.

Una seduta tenutasi nell'autunno del 1973 nell'ingresso antistante l'Aula Magna dell'ISS mi è rimasta particolarmente impressa. Si doveva eleggere il direttore dei Laboratori di Frascati: riuscimmo a far eleggere Giorgio Bellettini di Pisa, un ottimo fisico che aveva diretto la Collaborazione Pisa-Stony Brook⁶. La nomina di Bellettini fu un'ottima cosa per i Laboratori, anche per il ben noto episodio della scoperta della particella fatta di un quark e un antiquark di un tipo nuovo, con "charm", che confermò il meccanismo proposto da Glashow, Iliopoulos e Maiani⁷ (GIM) e lanciò il Modello Standard delle forze elettrodeboli.

Il 10 novembre del 1974 Sau Lan Wu (collaboratrice a Brookhaven di Sam Ting) telefonò a Bellettini e me – che ero il Presidente del Comitato sperimentale – per annunciare la scoperta di una particella a 3,1 GeV di energia, osservata dal loro gruppo al sincrotrone

⁶ Questa collaborazione, insieme al nostro gruppo CERN-Rome aveva scoperto, pochi mesi prima, agli Intersecting Storage Rings del CERN (ISR) il fenomeno dell'aumento della sezione d'urto protone-protone con l'energia (30).

⁷ Si veda, in proposito, l'articolo di Luciano Maiani contenuto in questo Quaderno.

a gradiente alternato (AGS) di Brookhaven e, indipendentemente, da Burton Richter e collaboratori al collisore elettrone-positone di Stanford. In pochi giorni la nuova particella fu osservata anche a Frascati e il lavoro fu pubblicato nello stesso numero di *Physical Review Letters* dove apparvero i lavori di Richter e Ting, che per questa scoperta ebbero il Premio Nobel nel 1986. Questa fu poi chiamata dai fisici “la rivoluzione di novembre”.

Tornando alla politica scientifica di Claudio Villi, nel 1971 era giunto il momento di istituire convenzioni stabili con le Università nelle quali erano localizzate le Sezioni INFN, sino allora ospiti per lo più benvenuti ma mai ufficialmente riconosciuti. La convenzione INFN-ISS fu la prima ad essere firmata e fu siglata nel 1974. Poco dopo, essendomi oramai installato a Ginevra, la direzione della Sezione passò a Paolo Salvadori.

L'ASSEMBLEA PERMANENTE

Le manifestazioni studentesche del 1968 scossero le università italiane, i laboratori dell'INFN a Frascati e anche l'Istituto, che attendeva da tempo una legge di riforma in discussione presso le Commissioni parlamentari competenti. Ageno e noi, suoi assistenti, insegnavamo e/o facevamo esami alla Sapienza e quindi seguivamo quotidianamente cosa succedeva al di là di Viale Regina Elena.

Ricordo bene il giorno in cui Ageno salì molto agitato al sesto piano, dove era il mio ufficio, per dirmi che aveva saputo che mio padre aveva preso per il bavero Franco Buccella – allora assistente poi divenuto un noto professore di fisica teorica – e lo aveva sbattuto contro una lavagna perché, con un gruppo di studenti, gli impediva di far lezione. Ageno aggiunse “è un fatto gravissimo; io urlo molto ma mai mi permetterei di toccare qualcuno con le mani...”.

Analoghi episodi si ebbero a Frascati, dove la contestazione esplose proprio nel periodo iniziale di Adone ritardandone la messa in funzione e facendo disamorare il suo costruttore e dominus, Fernando Amman. Uno dei contestatori più carismatici era Vittorio Silvestrini, mentre Guido Barbiellini rappresentava l'opposizione quieta ma decisa a ogni interferenza con la produzione di buona fisica. In molti siamo convinti che i mesi persi, nella presa dati e nella loro analisi, dai ricercatori di Adone a causa della contestazio-

ne abbiano avuto conseguenze deleterie sulla produzione scientifica di quello che allora era nel mondo il collisore elettrone-positrone di massima energia. Fu, così, ritardata la scoperta dell'abnorme e inattesa produzione di particelle, che ora sappiamo essere dovuta alla struttura a quark degli adroni, e quindi mancato il riconoscimento internazionale del fatto che ad Adone furono registrate le prime manifestazioni dei quark. Per questo nei libri di storia il merito è assegnato a SLAC (Stanford) ove furono fatti gli esperimenti di diffusione elettrone-protoni utilizzando il linac lungo un miglio.

Nel giugno del 1968, poche ore prima della fine della legislatura, il Ministro per i rapporti con il Parlamento Scaglia inviò in aula la legge stralcio di parziale riforma dell'ISS affossando definitivamente un processo iniziato anni prima. Il personale si riunì immediatamente in un'infuocata assemblea; fu nominato Presidente Luciano Vella, un medico di grande competenza e umanità che era conosciuto e apprezzato dal personale di tutte le categorie; tra l'altro, Vella è stato per moltissimi anni Direttore dell'Enciclopedia Medica dell'UTET. Subito dopo fui eletto Vicepresidente dell'Assemblea Permanente senza che ne sapessi nulla; ho sempre pensato che ciò sia stato dovuto al desiderio di Gloria Campos Venuti e di altri di affiancare a Vella, comunista politicamente attivo, un cattolico non iscritto ad alcun partito ma che leggeva *Politica*, il giornale di quelli che allora si definivano "cattolici di sinistra". Mario Ageno fu informato immediatamente di questa "elezione" e ne fu contento, almeno inizialmente, perché essa era un indubbio riconoscimento dell'importanza dei Laboratori di Fisica per l'ISS, accanto all'ovvia centralità della medicina, rappresentata da Vella, che egli stimava. Non ebbe quindi nessuna esitazione nell'incoraggiarmi ad accettare.

Le cose cominciarono a deteriorarsi quando fu chiaro che l'Assemblea Permanente sarebbe stata davvero permanente. Per molte settimane il lavoro s'interruppe e molti approfittarono per lavorare meno. Dopo alcune settimane di riunioni e sotto-riunioni decidemmo di focalizzarci sulla stesura di un progetto di riforma dell'Istituto, che ne aveva veramente bisogno. Fu una decisione non facile perché implicava applicazione e tempo ma Luciano Vella fu convincente e molti del Laboratorio di Fisica dettero il loro contributo. Ageno fu di nuovo contento perché decidemmo di prendere come consulente, per la stesura del progetto di legge, Giovanni De Cesare,

assistente ordinario di Diritto Amministrativo che egli stesso aveva scelto, un anno prima, per insegnare a noi senior dei laboratori elementi di diritto. Era persona competente, seria e dedicata che noi fisici conoscevamo bene e che, nei mesi successivi, s'impegnò a fondo con i molti gruppi tra cui avevamo suddiviso il lavoro.

Due episodi mi sono rimasti impressi.

In questa iniziativa avevamo dalla nostra parte molti parlamentari e senatori della sinistra mentre eravamo alla costante ricerca di appoggio nella maggioranza democristiana. Vella ed io, tra l'altro, riuscimmo a interessare un importante senatore democristiano che ci diede appuntamento presso la sede di una sua improbabile Fondazione. Attendemmo più di due ore per poi scoprire, in pochi minuti, che il personaggio sperava soltanto che lo aiutassimo a raccogliere voti di preferenza presso il personale dell'Istituto.

Il secondo episodio ha a che vedere con un personaggio di altro spessore. Attraverso un cugino di Clelia, che faceva parte della "think tank" dell'allora Ministro del Tesoro Emilio Colombo del III governo Rumor, fui ricevuto al Ministero. Due cose mi sono rimaste scolpite: il fuoco che scoppiettava nel caminetto di quell'enorme salone e l'abilità con cui, senza cacciarmi, dopo dieci minuti il Ministro mi fece capire che l'udienza era finita. Si era dimostrato interessato ai nuovi ruoli che proponevamo per i ricercatori ma assolutamente contrario all'idea – una delle principali richieste dell'Assemblea Permanente – che gli amministrativi dell'ISS avessero una carriera diversa da quella di tutti gli altri impiegati statali poiché il loro lavoro aveva una propria specificità.

Il progetto di legge – composto di 78 articoli – fu pronto nel novembre del 1968, stampato e portato in Parlamento; la lunga relazione iniziale era firmata da Luciano Vella, Riccardo Monacelli (altro Vicepresidente), Giovanni De Cesare e me. Del risultato fummo, giustamente, molto orgogliosi perché, a quanto mi risulta, fu l'unica occasione nella quale un movimento sessantottino dette origine a una proposta di modifica legislativa.

Naturalmente il testo fu modificato durante il percorso parlamentare, completato cinque anni dopo (Legge 519 dell'agosto 1973), ed è difficile per me oggi attribuire la responsabilità delle parti che poi non hanno funzionato al lavoro fatto dall'assemblea oppure alle molte varianti introdotte in Parlamento. È un fatto che

io, come molti altri, dedicai troppo tempo a questo lavoro; basti dire che furono tenute 26 Assemblee generali, 51 riunioni del Comitato di coordinamento e più di 100 riunioni delle Commissioni di Studio. Furono anche distribuiti al personale nove numeri dell'apposito Bollettino⁸.

I SUCCESSIVI CONTATTI CON IL LABORATORIO DURANTE LA PERMANENZA AL CERN

Dopo aver lavorato alla fisica del neutrino nella seconda parte degli anni '70 ed essermi occupato di collisori lineari, nel 1980, con Guido Barbiellini e un gruppo di colleghi, lanciammo la collaborazione DELPHI, che costruì l'apparato omonimo montato sul collisore LEP. Dopo un anno di presa dati decisi di lasciare la fisica delle particelle e tornare, come disse Clelia, "al tuo primo amore": l'uso delle radiazioni per la terapia dei tumori. Essendo andato nel frattempo in cattedra, prima a Firenze e poi a Milano, con l'aiuto iniziale dell'INFN e un piccolo gruppo di collaboratori cominciammo a progettare un sincrotrone per trattare con ioni carbonio i tumori radioresistenti. In parallelo avevo avuto l'idea di progettare un acceleratore lineare a 3 GHz per la produzione di fasci di protoni per la terapia dei tumori vicini a organi critici.

Per poter pagare dei collaboratori a pieno tempo nel settembre del 1992 creammo a Novara la Fondazione TERA (Terapia con Radiazioni Adroniche). Una settimana dopo tenni presso il Laboratorio di Fisica dell'ISS un seminario cui, nelle parole di Martino Grandolfo, "può farsi risalire la matrice culturale che portò il Laboratorio stesso a focalizzare una gran parte delle proprie risorse umane su un progetto di protonterapia". Si potevano scegliere vari acceleratori e quindi TERA, l'ENEA, i Laboratori di Fisica, l'INFN e molti altri

⁸ Mentre a Roma andava avanti questo impegno, con Giorgio Matthiae e i nostri collaboratori passavo parecchio tempo a Ginevra per seguire l'esperimento fatto al PS con il gruppo Cocconi e poi, per la preparazione dei Roman Pots e la presa dati agli ISR. Il tempo assorbitomi dai lavori dell'Assemblea Permanente e dei suoi gruppi di lavoro e l'impossibilità di portare a termine l'esperimento montato sul collisore elettrone-positrone Adone - insieme alle proteste di Clelia perché non avevo tempo per lei e i nostri quattro bambini che avevano tra 3 e 10 anni - furono le cause della decisione di passare al CERN un anno come Research Associate: il trasferimento della famiglia, come ho detto, avvenne nel settembre del 1971.

enti ed istituti misero insieme le forze per progettare acceleratori “compatti” di tipi diversi: ciclotroni, sincrotroni e Linac. Il Gruppo Linac fu coordinato da Mario Weiss di TERA e tutti questi progetti furono descritti nel *Libro Verde* (31).

In seguito il progetto del Linac per protoni fu portato avanti con grande determinazione da Martino Grandolfo, Luigi Picardi e i loro collaboratori all’ISS e all’ENEA. Il primo sostanzioso finanziamento fu assegnato dal Ministero della Sanità quando io non ero più membro del Comitato Scientifico dell’ISS. In seguito i finanziamenti furono ridotti e i tempi si allungarono, ma la dedizione dei fisici del Laboratorio e di Luigi Picardi non sono mai venuti meno. Nel 2015 un tale acceleratore era in costruzione presso i Laboratori di Frascati dell’ENEA e, finanziato dalla Regione Lazio, aveva raggiunto i 18 MeV di energia. Dopo la qualificazione sarà montato presso il centro di radioterapia dell’IFO, un effetto del mio seminario del 1992 a troppo lunga distanza.

Sono passati quasi sessant’anni da quando, da laureando, discesi per la prima volta lo scalone di marmo dell’ISS ma non posso ripensare a quel periodo senza nostalgia. Non si tratta però del sentimento che provo per altri fatti della vita, che a distanza di tempo appaiono belli per via della gioventù e delle sue promesse.

Ho nostalgia dello spirito che a tutti noi trasmetteva Mario Ageno, delle piccole dimensioni dei Laboratori di Fisica e della diversità delle sue attività, che ci permettevano di seguire senza fatica gli sviluppi di innumerevoli campi della fisica. E, anche se allora talvolta protestavo per il troppo tempo che ci assorbiva, ho nostalgia di quella mescolanza tra ricerca fondamentale e servizio ai cittadini e allo Stato che lo stesso Ageno aveva posto a base della vita dei Laboratori e che – molti anni dopo – ho ripreso con la Fondazione TERA e ho cercato di propagandare con lo slogan “la fisica è bella e utile” (7).

Bibliografia

1. Amaldi U. Ricordi di famiglia. In: A cura di Ferroni F. *The legacy of Edoardo Amaldi in science and society*. 2. ed. SIF, Bologna, 2009. p. 175-206.
2. Courant ED, Livingston MS, Schneider H. The strong-focusing synchrotron – a new high energy accelerator. *Phys Rev* 88 (1952) 1190.

3. Cortellessa G, Amaldi U Jr, Reale A. Ottica di iniezione. *Nuovo Cimento* 24 (1962) 298.
4. Lee TD, Yang CN. Question of parity conservation in weak interactions. *Phys Rev* 104 (1956) 254.
5. Schopper H. Circular polarization of γ -rays: further proof for parity failure in β decay. *Phil Mag* 2 (1957) 710; Measurement of circular polarization of γ -rays. *Nucl Instr* 3 (1958) 158.
6. Amaldi U Jr, Bernardini M, Brovetto P, Ferroni S. Measurement of the circular polarization of the bremsstrahlung produced by electrons from ^{204}Tl , *Nuovo Cimento* 11 (1959) 415; U. Amaldi *et al.* Misura della polarizzazione della bremsstrahlung esterna del ^{204}Tl . *Ann Ist Super Sanità* 22 (1959) 105.
7. Amaldi U. *Sempre più veloci*. Zanichelli Editore, Bologna, 2012. p. 150-155.
8. Cortellessa G. *Organizzazione per l'analisi dei fotogrammi di camere a tracce. Raccolta delle comunicazioni*. Congressino INFN, Frascati 6-9 maggio 1963. LNF-63/47.
9. Amaldi U Jr *et al.* Antiproton-proton elastic and inelastic total cross-sections between 57 and 178 MeV. *Nuovo Cimento* 46 (1966) 171.
10. Amaldi U, Selleri F. Nucleon-nucleon diffraction scattering. *Phys Rev* 128 (1962) 2772.
11. Amaldi E, Bocciarelli D, Cacciapuoti BN, Trabacchi GC. Sullo sparpagliamento elastico dei neutroni veloci da parte dei nuclei medi e pesanti. *Nuovo Cimento* 3 (1946) 203.
12. Amaldi U Jr. *Introduzione ai poli di Regge*. In: Il seminario dei Laboratori di Fisica nel quadrimestre maggio-agosto 1962. Rapporti dei Laboratori di Fisica, ISS 62/36 (3 settembre 1962). p. 10-26.
13. Amaldi U Jr. *Lezioni introduttive alla teoria dei campi (Appunti) I e II*. Rapporti dei Laboratori di Fisica, ISS 61/43 (2 ottobre 1961) e ISS 61/44 (30 gennaio 1962).
14. Amaldi U. Pion-production amplitudes and nucleon-nucleon interaction. *Rev Mod Phys* 39 (1967) 649.
15. Amaldi U Jr, Campos Venuti G, Frullani S, Maiani L, Tabet E. Criteri di scelta dell'ubicazione delle installazioni nucleari. *Ann Ist Super Sanità* 7 (1971) 626.
16. Amaldi U, Campos Venuti G. Aspetti sanitari della protezione delle popolazioni dalle radiazioni nell'intorno degli impianti nucleari. *Ann Ist Super Sanità* 9 (1973) 109.
17. Jacob G, Maris Th AJ. Quasi-free electron-proton scattering (I). *Nucl Phys* 31 (1962) 139.
18. Amaldi U, Campos Venuti G, Cortellessa G, Fronterotta G, Reale A, Salvadori P, Hillman P. Inner-shell proton binding energies in ^{12}C and ^{27}Al from the (e, e'p) reaction using 550 MeV electrons. *Phys Rev Lett* 13 (1964) 341.
19. Amaldi U Jr, Campos Venuti G, Cortellessa G, De Sanctis E, Frullani S, Lombard R, Salvadori P. Proton angular distribution in the high energy ^{12}C (e, e'p) ^{11}B reaction. *Phys Lett* 25B (1967) 24.

20. Wilkinson DH. *Comments on nuclear and particle physics*. 2 (1968) 48.
21. Amaldi U Jr, Campos Venuti G, Cortellessa G, De Sanctis E, Frullani S, Lombard R, Salvadori P. The (e, e'p) reaction in calcium induced by 580-750 MeV electrons. *Phys Lett* 22 (1966) 593.
22. Nakamura K *et al.* Reaction ^{40}Ca (e, e'p) and observation of the 1s proton state. *Phys Rev Lett* 33 (1974) 853.
23. Smirnov Yu F, Neudachin VG. Investigation of the electron states of atoms, molecules, and solids by quasi-elastic knock-on of an electron by a fast electron. *ZJEPT Letters* 3 (1966) 192.
24. Amaldi U Jr, Egidi A, Marconero R, Pizzella G. Use of a two channeltron coincidence in a new line of research in atomic physics. *Rev Sci Instrum* 8 (1969) 1001; U. Amaldi Jr. Quasi-free scattering of electrons on atoms. *Ann Ist Super Sanità* 5 (1969) 680.
25. Amaldi U Jr, Ciofi degli Atti C. Value and limitations of quasi-free electron scattering experiments in atoms. *Nuovo Cimento* 66A (1970) 129.
26. McCarthy IE, E. Wiegold E. Electron momentum spectroscopy of atoms and molecules. *Rep Progr Phys* 54 (1991) No 6.
27. Camilloni R, Giardini Guidoni A, Tiribelli R, Stefani G. Coincidence measurement of quasifree scattering of 9-keV electrons on K and L shells of carbon. *Phys Rev Lett* 29 (1972) 618.
28. Ageno M. *Elementi di fisica*. 3. ed. Boringhieri, Torino, 1976.
29. Amaldi U Jr. *Fisica delle radiazioni*. Boringhieri, Torino, 1971.
30. Amaldi U. An ISR discovery: the rise of the proton-proton cross-section. A cura di H. Schopper. L. Di Lella. In: *60 years of CERN experiments and discoveries*. World Scientific, 2015. p. 257-86.
31. Amaldi U, Grandolfo M, Picardi L (Eds). *The RITA network and the design of compact proton accelerators (Il libro verde)*. TERA, Novara, 1996.