

I 50 ANNI DEI LABORATORI DI LEGNARO: UN PEZZO DI STORIA DELLA FISICA DEI NUCLEI IN ITALIA

R. A. RICCI

Laboratori Nazionali di Legnaro, Padova, Italia

"Il passato non è morto e sepolto. Forse non è neppure passato"
William Faulkner

In un noto romanzo di Ken Follet "The pillars of the earth" che, tra l'altro, è stato oggetto di una interessante miniserie televisiva (SkyR4), si racconta la storia, immaginaria, della costruzione di una Cattedrale, la Cattedrale di Kingsbridge, nel XII secolo. Attorno a questa costruzione che dura diversi anni si intrecciano, sia pure in modo molto romanzato, le vicende umane, fatte di episodi emozionanti, violenti, ambigui, gloriosi e tragici ma all'interno dei quali il filone principale è la volontà, la tenacia, la capacità e la visione ideale dei progettisti e dei costruttori (i "maestri costruttori") che sono i veri protagonisti del successo dell'impresa e del suo affermarsi per il futuro. Pilastri e uomini dunque come in ogni altra vicenda umana che si inserisce nella storia, in una storia grande o piccola che sia. Anche nella storia della scienza, della fisica ad esempio, si sono costruiti pilastri grandi e meno grandi ma sempre importanti per lo sviluppo della conoscenza e quindi della civiltà. In Italia gli esempi sono innumerevoli e limitandoci alla fisica, alla nostra fisica, l'INFN ne è un paradigma così come i Laboratori universitari e nazionali che ne costituiscono un elemento anche storico di prestigio ma dietro ai quali vi sono sempre persone, pionieri, costruttori, ricercatori, tecnici che ne hanno fatto la storia. Raccontiamo qui le origini e la storia di uno di questi pilastri fondamentali per lo sviluppo della fisica di nuclei in Italia, i Laboratori di Legnaro di cui ricorre il 50° anniversario della fondazione (fig. 1).

Introduzione

La storia della fisica dei nuclei in Italia non è perfettamente lineare. Va precisato che la specificità della dizione "Fisica dei Nuclei" ha una sua ragione per il fatto, soprattutto in Italia, che, a partire dai primi anni del dopoguerra, la rifondazione della fisica italiana, per circostanze varie, non ultime le condizioni strumentali più consone, privilegiò sostanzialmente le ricerche sui raggi cosmici da cui doveva derivare il grande impulso alla fisica delle particelle elementari che ha costituito e costituisce tuttora il filone principale delle ricerche d'avanguardia, in campo sia sperimentale che teorico, su cui si fonda, del resto giustamente, buona parte del prestigio internazionale della fisica italiana. La fisica dei nuclei, ossia il settore di fisica (nucleare) che si occupa più propriamente della struttura e della dinamica dei nuclei atomici, deve tale distinzione all'evoluzione storica della fisica nucleare da E. Fermi e



Fig. 1 Legnaro 1961: il "primo pilastro": la torre dell'acceleratore CN da 5,5 MV in costruzione.

E. Amaldi in poi fino alla fondazione dell'INFN (1951) passando per la fase di arresto del periodo bellico. Non è questa la sede per una ricostruzione storica di questo tipo e sarebbe del resto una pretesa fuori luogo. Vale la pena tuttavia di ricordare come i due filoni principali, studio dei raggi cosmici e fisica nucleare, fossero nati dallo stesso ceppo e che, sia pure a varie riprese, riapparvero in forma diversificata negli anni della ricostruzione, come ben evidenziava Edoardo Amaldi nel suo discorso pronunciato in occasione del Convegno su "Prospettive della Fisica fondamentale" (Roma, 1978) [1]. Nel riferire sulla ripresa della attività di ricerca a Roma, Amaldi in effetti ricorda che: "[...] Le grandi linee di ricerca erano essenzialmente ancora due come nel 1938: lo studio dei raggi cosmici, guidato da Gilberto Bernardini e la fisica nucleare di cui mi occupavo io personalmente. Quest'ultima attività veniva svolta in collaborazione con Daria Bocciarelli e Giulio Cesare Trabacchi dell'Istituto Superiore di Sanità usando, come sorgente di neutroni, l'impianto da 1,1 milioni di Volt che avevamo costruito, insieme con Franco Rasetti, negli anni 1937-1938 [...]".

È interessante osservare come Amaldi, riferendosi a tale strumento, si ricolleggi alla fisica dei neutroni che è da considerare come l'antesignana della fisica nucleare (dei nuclei) in Italia; non solo ma anche per l'ulteriore sviluppo delle connesse attività di carattere applicativo.

Contemporaneamente, in effetti, a Milano, sotto la direzione di Giuseppe Bolla, partiva il progetto di un Laboratorio di fisica nucleare applicata con la creazione del CISE (Centro Italiano Studi ed Esperienze), fatto che preludeva alla costituzione del CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari) nel 1952 poi trasformatosi, nel 1960, nel CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare). Questo filone milanese di fisica nucleare (G. Bolla, C. Salvetti, G. Salvini, M. Silvestri) si distingueva esso

pure dal filone raggi cosmici (G. Cocconi, A. Mura, G. Tagliaferri, G. Salvini), con più attenzione alle ricerche riguardanti le misure di sezioni d'urto di scissione dell'uranio e con possibili prospettive per l'energia di fissione nucleare [2].

Tornando all'importanza, direi storica, delle ricerche con neutroni in Italia, va ricordato che in effetti furono proprio le reazioni con neutroni ad aprire il campo della fisica dei nuclei con l'utilizzo diffuso degli acceleratori-generatori di neutroni da 14 MeV in varie università italiane negli anni '60. Si ricordi, a questo proposito, l'evoluzione delle attività al CISE in relazione anche allo sviluppo della fisica nucleare fondamentale dei gruppi di Milano, a partire dall'utilizzo dell'acceleratore Cockroft-Walton da 150 kV, costruito da Emilio Gatti, con il quale sono state misurate le prime sezioni d'urto di fissione e usati i neutroni da 14 MeV dalla reazione (d, t) per lo studio di reazioni (n, p) e (n, d) con rivelatori a gas accoppiati a scintillatori a CSI (gruppo Facchini). Un acceleratore dello stesso tipo era stato costruito presso l'Istituto di Fisica di via Saldini, dove il gruppo L. Colli, M. Pignanelli, S. Micheletti, proseguì lo studio delle reazioni con neutroni. Più tardi, nel 1958-1960, venne costruito un acceleratore elettrostatico Van de Graaf da 3,5 MV (l. Iori) portato poi nella nuova sede del CISE a Segrate, con il quale furono intrapresi studi di reazioni indotte da neutroni e protoni, sul modello statistico e sulle fluttuazioni di Ericson (l. Iori, M. Pignanelli, E. Gadioli) usando tra l'altro i primi rivelatori al silicio costruiti nel laboratorio di Gatti. Iniziava inoltre in quegli anni la progettazione e la costruzione, presso l'Istituto di Fisica, del ciclotrone AVF da 50 MeV di protoni che comincerà a funzionare nel 1965 (G. Tagliaferri, C. Succi) estendendo le ricerche del gruppo milanese alle reazioni di trasferimento e ai processi di pre-equilibrio e precludendo alla realizzazione di un ciclotrone superconduttore (F. Resmini, E. Acerbi) per ioni pesanti che sarebbe poi stato

trasferito ai costituenti Laboratori Nazionali del Sud (1976) [3].

Considerato che, come vedremo, in altre università e laboratori italiani l'acquisizione di acceleratori elettrostatici per la produzione di neutroni veloci fu un po' il cavallo di battaglia per organizzare ricerche nucleari di bassa energia accompagnate tuttavia da macchine circolari a RF come il betatrone di Torino e successivamente e più specificamente il ciclotrone di Milano, il risorgere di tali attività preludeva già ad uno sviluppo più organizzato.

1 La fisica nucleare in Italia negli anni '50-'60

Come fa rilevare Claudio Villi [3] l'attività di fisica dei nuclei in Italia era tuttavia viva negli anni 1950-1956: "[...] quando un gruppo di ricercatori che nell'immediato dopoguerra aveva condotto esperimenti con i raggi cosmici, cominciò ad effettuare misure di sezioni d'urto di reazioni fotonucleari con il betatrone dell'Università di Torino". Esperimenti di questo tipo, i primi di fisica dei nuclei, si estendono poi all'uso di generatori elettrostatici di bassa energia. Ciò è dimostrato dalla installazione (Torino, Trieste, Catania) in quegli anni di macchine di questo tipo per ricerche appunto di fisica nucleare di bassa energia. Questa terminologia molto diffusa fino agli anni '70, oltre a stabilire una distinzione operativa ma anche concettuale (si soleva giustificare il termine introducendo un parametro di soglia inteso come limite dato dalla soglia di produzione dei mesoni, al di sopra della quale si apriva il fronte delle particelle elementari oggetto della fisica nucleare di alta energia), finiva per dare al settore una qualifica di fisica meno importante o per lo meno non di frontiera.

Come già accennato, nel 1951, per iniziativa di Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini (Roma), veniva costituito, sotto l'egida del CNR, l'INFN alla cui fondazione parteciparono, nella prima

fase, le sezioni di Milano (G. Bolla), Torino (G. Wataghin), Padova (A. Rostagni). Ricorda Villi, che tale istituzione "[...] ebbe lo scopo di mantenere in vita e sviluppare una tradizione culturale e scientifica che risaliva a quasi trent'anni prima ed aveva le sue lontane radici nelle ricerche teoriche e sperimentali di fisica nucleare e sulla radiazione cosmica svolte tra il 1932 e il 1938, le une dalla scuola di Enrico Fermi [...] a Roma, le altre [...] a Padova, Firenze, Milano [...]". È di quegli anni la decisione di costruire un elettrosincrotrone (ES) da 1000 MeV (1953) istituendo una apposita Sezione Acceleratore presso l'Università di Pisa (1954), poi trasferita a Roma e definitivamente a Frascati (1957), con l'istituzione dei Laboratori Nazionali di Frascati, dove l'ES venne costruito ed installato, sotto la direzione di Giorgio Salvini, entrando in funzione nel febbraio 1959. Nel frattempo l'ES prima e tutto l'INFN poi furono trasferiti al CNRN trasformatosi nel 1960 in CNEN. Ciò assicurava maggiore certezza di finanziamenti e metteva le basi per il futuro della fisica della particelle elementari in Italia, anche se patrocinate – vedi curiosità – dalla strategia nuclearista oggi tanto vituperata.

Parallelamente, sia pure con mezzi molto minori, gli anni '60 videro un primo vero sviluppo della fisica dei nuclei. È un pezzo di storia dell'INFN, infatti, quello che porta i fisici nucleari (di bassa energia) italiani ancora in posizione difficile per "mancanza di larghi spazi e adeguati finanziamenti", come ebbe a dire Giorgio Salvini [4] nella sua relazione sull'attività dell'INFN dal 1966 al 1969 alla fine del suo mandato di presidente, e quindi non in condizioni di competere a livello internazionale, vista la necessità di macchine acceleratrici, alla successiva impressionante evoluzione.

La situazione di quegli anni è illustrata in fig 2.

In effetti le ricerche allora sviluppatesi riguardavano in particolare certi aspetti della dinamica nucleare mediante lo studio di reazioni nucleari e diffusione

elastica e inelastica indotte da particelle leggere (p, n, d, ^3He) e di processi di fissione e fotoreazioni indotte da radiazioni gamma.

Inoltre, oltre all'interesse dell'INFN per le già menzionate attività del CISE con l'acceleratore Van de Graaf da 3,5 MV poi trasformato in Tandem da 8 MV, è a Catania e a Padova che si prefigurano le basi per uno sviluppo imponente che porterà alla istituzione, negli anni '70, di due grandi Laboratori Nazionali.

A Catania, promotore Renato Ricamo, l'acquisto di un acceleratore Van de Graaf da 2,5 MV da parte del Centro Siciliano di Fisica Nucleare con fondi regionali e del Ministero per la Pubblica Istruzione, creò le premesse sulla base delle quali, circa 20 anni dopo, l'INFN avrebbe istituito i Laboratori Nazionali del Sud¹.

A Padova, presso l'Istituto di Fisica dell'Università che era già ben avviato nelle ricerche di fisica dei raggi cosmici, Antonio Rostagni (fig. 3) decise di intraprendere nuove attività nel campo della fisica dei nuclei che portò, come vedremo, alla creazione del Laboratorio dell'Acceleratore di Ioni nell'ambito dell'allora Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto che si era dotato di un acceleratore Van de Graaf da 5,5 MV (1961) e che già faceva intravedere lo sviluppo verso il primo Laboratorio Nazionale di Fisica dei Nuclei, a Legnaro.

Poiché nel frattempo, oltre a quanto si stava sviluppando, come si è visto, a Milano, anche a Trieste la locale sottosezione INFN si era dotata nel 1959 di un generatore elettostatico Cockroft-Walton da 200 kV e a Torino, oltre al betatrone (acceleratore di elettroni) e al sincrotrone utilizzati per studi di fotoreazioni, esisteva un altro

¹ I Laboratori del Sud hanno seguito una strada pressoché analoga a quella dei Laboratori di Legnaro: dal primo pilastro costruito da Ricamo alla costituzione di un laboratorio nucleare nel contesto regionale siciliano fino alla costituzione dei Laboratori Nazionali grazie all'iniziativa e alla perseveranza di protagonisti come A. Agodi, E. Migneco, C. Milone, G. Pappalardo, R. Potenza, A. Rubbino.

FISICA NUCLEARE in ITALIA Anni 50 – 60	
DA	ATTIVITA' LOCALI (~ Università)
(TORINO, MILANO, PADOVA, TRIESTE, ROMA, CATANIA reazioni nucleari, proprietà nucleari da decadimenti radioattivi, processi di fissione.....)	
A	ESPERIMENTI CON FACILITIES DEDICATE
TORINO:	BETATRONE (e) Acc. E.S. CW 300 kV → n 14 MeV α Fotoreazioni, reazioni, scattering + SINCROTRONE: fotodisintegrazioni assorbimento fotonico (~RG)
TRIESTE:	Acc. E.S. CW 600 kV → n 14 MeV reazioni n, ...p... n. scattering
CATANIA:	V.d.G. (p; d) → 2 MeV fissioni da n, d, ^3He trasf.
MILANO:	CICLOTRONE 2xFoc 20-40 MeV p reazioni, scattering nuclei leggeri p, α p→fissione, nucleo composto
CISE:	V.d.G. 3,5 MV → Tandem 8 MV struttura nucleare, reazioni
NAPOLI:	V.d.G. 400 kV(d,t) → 14 MeV n Start: SPETTROSCOPIA NUCLEARE (+ FIRENZE)
LNL/PADOVA:	V.d.G. 5.5 MV reazioni p,d, ^3He + struttura (p,n), (p, γ) 400 kV (n puls.) (+ SSC. FMA)

Fig. 2 La fisica dei nuclei in Italia nei primi anni '60.



Fig. 3 Antonio Rostagni, fondatore del Laboratorio di Legnaro (1961) con Claudio Villi, pioniere dello sviluppo della fisica dei nuclei in Italia. Foto dell'inaugurazione del Tandem di Legnaro (1982).

acceleratore elettrostatico da 300 kV, si vede come all'origine dell'ulteriore espansione della fisica nucleare in Italia vi fosse la pressante richiesta di una sufficiente dotazione di macchine acceleratrici per l'avvio consistente e sistematico di indagini mediante l'uso di reazioni nucleari indotte, oltre che da neutroni, da particelle cariche.

Il fatto significativo, inoltre, di questa spinta fu che, contemporaneamente, si stavano sviluppando due filoni della fisica dei nuclei, l'uno di bassa energia nel senso sopra accennato, l'altro nella direzione delle energie intermedie, al di sopra della risonanza gigante e comunque al di sotto della soglia pionica, un ponte già tra la fisica nucleare di bassa e quella di alta energia che avrebbe dato i suoi pregevoli frutti con le ricerche successive al CERN e presso altri Laboratori internazionali. A quest'ultimo si ricollegavano gli studi intrapresi al sincrotrone di Torino (e all'acceleratore lineare di Orsay), sulla fotodisintegrazione di nuclei leggeri e sull'assorbimento fotonico nella regione della risonanza gigante, nonché quelli resi possibili dalla realizzazione a Frascati del Laboratorio Leale con la produzione di fotoni monocromatici da 60–300 MeV mediante l'annichilazione in volo dei positroni del LINAC (R. Scrimaglio, C. Schaerf).

Al primo d'altra parte si collegavano, oltre alle iniziative citate, le attività connesse con un certo numero di acceleratori elettrostatici "casalinghi" in varie sezioni ormai integrate nell'INFN, in particolare a Napoli dove, grazie alla dotazione di un tipico acceleratore da 400 keV generatore di neutroni da 14 MeV (mediante la reazione d, t), iniziarono in Italia le ricerche di spettroscopia nucleare mediante le tecniche avanzate della spettrometria gamma [5]. Tali ricerche nate e sviluppate a Napoli dal gruppo diretto da chi scrive in seguito alla collaborazione con gli Istituti di Fisica Nucleare di Amsterdam e di Orsay e poi di Monaco, in seguito

portate a Firenze, a Padova e a Legnaro (anni 1961-1966) dettero origine a quel patrimonio di attività e risultati di rilievo nello studio della struttura nucleare che portarono in breve tempo i contributi italiani a livello internazionale e costituiscono tuttora un settore essenziale e di grande rilievo delle attività dei Laboratori Nazionali di Legnaro. Il paradigma di tale excursus fu tutta l'attività connessa con lo studio delle strutture nucleari nella regione dell'orbitale $1f_{7/2}$ del modello a "shell" [6] che vide coinvolti i gruppi nucleari già citati in una interessante avventura scientifica a livello internazionale. Ciò è dimostrato, come vedremo, da due importanti conferenze tenutesi in Italia, la prima a Legnaro nell'aprile 1971 e la seconda a Firenze nel giugno 1977. Precursore di questa serie di ricerche (la "saga $f_{7/2}$ ") fu l'importante risultato [7] relativo allo spettro gamma del ^{50}Ti (sequenza di livelli della configurazione a 2 protoni nella shell $1f_{7/2}$) susseguente al decadimento beta dello ^{50}Sc ottenuto dalla reazione $^{50}\text{Ti}(n, p\gamma)$ con neutroni da 14 MeV prodotti appunto tramite l'acceleratore da 400 keV a Napoli (fig. 4)².

² L'evoluzione storica e i successi delle ricerche di Spettroscopia Nucleare, con particolare riguardo alla spettrometria gamma, hanno visto il coinvolgimento, insieme con R.A.R., dei gruppi di Napoli (G. Chilosi, G. B. Vingiani, P. Cuzzocrea, M. Drosi, S. Monaro, C. Rossi-Alvarez, G. Varcaccio, A. Covello, V. Manfredi, G. Sartoris, A. Barone); Trieste (G. Poiani, G. Pauli, R. Giacomich, U. Abbondanno); Firenze (P. Blasi, P. Maurenzig, P. G. Bizzeti, A. M. Bizzeti-Sona, P. Sona, N. Taccetti); Padova-Legnaro (F. Brandolini, M. Morando, C. Signorini, F. Pellegrini, P. Boccaccio, G. Fortuna, F. Gramegna, P. Spolaore, A. Stefanini, L. Vannucci, G. Viesti, E. Tomasi). Le collaborazioni storiche si riferiscono a IKO-Amsterdam (R. K. Girgis, R. Van Lieshout, A. H. Wapstra, G. Wolzak); Orsay (M. Jean, J. Touchard, M. Riou, J. C. Jacmart, C. Ruhla, M. Pautrat); München-Garching (H. Morinaga, W. Kutschera, R. B. Huber); Zagabria (N. Cindro).

2 La fondazione dei Laboratori di Legnaro

Il 27 novembre 1961 veniva inaugurato il laboratorio dell'acceleratore di ioni fondato da Antonio Rostagni inteso come "Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto". Un mese prima era entrato in funzione l'acceleratore elettrostatico Van de Graaf (CN) da 5,5 MV.

Il Laboratorio di Legnaro sorge dunque al momento giusto e si afferma subito come possibile punto di coagulo di molte delle attività di fisica nucleare di bassa energia diffuse in varie università italiane e in alcune delle prime sezioni dell'INFN.

Le motivazioni sono ben espresse nelle "Notizie Generali" che introducono il volumetto a cura di Rostagni e Villi su "I Laboratori di Legnaro" del 9 luglio 1967 [8] qui riportate in parte:

Notizie Generali

Sin dal 1956 l'Istituto di Fisica dell'università di Padova, essendosi ormai consolidata l'attività di ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari, decise di intraprendere una nuova attività nel campo della fisica dei nuclei, il quale appariva allora in Italia assai trascurato. In vista di ciò fu presentata al Ministero della Pubblica Istruzione una domanda di assegnazione straordinaria per l'acquisto di un acceleratore Van de Graaf da 3 MeV che in quel tempo era il massimo disponibile in commercio. L'apparecchio venne più tardi incluso nel programma di sviluppo della Scuola di Fisica Nucleare Applicata di Padova nel quadro del Piano Quinquennale del C.N.R.N. (1958). Nel 1959 l'Università di Padova ottenne dal Ministero un'assegnazione di 250 milioni (di Lire, ndr.) per l'acquisto dell'acceleratore sul fondo di 12 miliardi destinato all'incremento delle attrezzature scientifiche. La somma elargita fu utilizzata per l'acquisto di un acceleratore da 5,5 MeV tipo CN della H.V.E.C., da poco entrato in

produzione. Si richiese alla H.V.E.C. un apparecchio "maggiorato", cioè di lunghezza superiore al normale che, senza sensibile aumento di spesa, consente una maggiore elasticità di impiego. Sin dall'inizio si considerò la possibilità che l'acceleratore potesse acquistare interesse anche sul piano nazionale; per questa ragione si rinunciò all'idea di installare l'apparecchio presso l'Istituto di Fisica [...]. Per non compromettere l'estensione futura del laboratorio dell'acceleratore e consentire l'attività di un numero elevato di gruppi di ricerca di Padova e di altre sedi, si decise di costruire il nuovo laboratorio nella località di Legnaro, al km 8400 della provinciale Padova-Pieve di Sacco, su di una tenuta di notevole estensione (ca 100 ettari) che l'Università aveva acquistato per istituire l'Azienda Sperimentale della Facoltà di Agraria. L'Università, oltre a mettere a disposizione il terreno, deliberò un primo stanziamento di 130 milioni di Lire per gli edifici sulle assegnazioni del Piano della Scuola. L'acceleratore entrò in funzione nell'ottobre 1961 e i Laboratori furono inaugurati il 27 novembre 1961; essi presero la denominazione di Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto [...].

La strategia della missione nazionale dei Laboratori (si noti che da allora la dizione al singolare si tramutò in una versione al plurale in considerazione del fatto che presto Legnaro, come del resto altri Laboratori dell'INFN, avrebbe assunto una caratterizzazione più estesa e dotata di più "facilities") era dunque chiara ed è dimostrata dalle successive mosse di Rostagni. La prima fu quella di raccogliere un gruppo di ricercatori e tecnici dell'Istituto di Fisica (in particolare U. Fasoli, G. Zago, C. Manduchi, F. Pellegrini) convincendoli a dirottare la propria attività verso Legnaro. Determinante fu a questo scopo il richiamo dagli Stati Uniti di Italo Filosofo (v. fig. 5) che fu il vero e

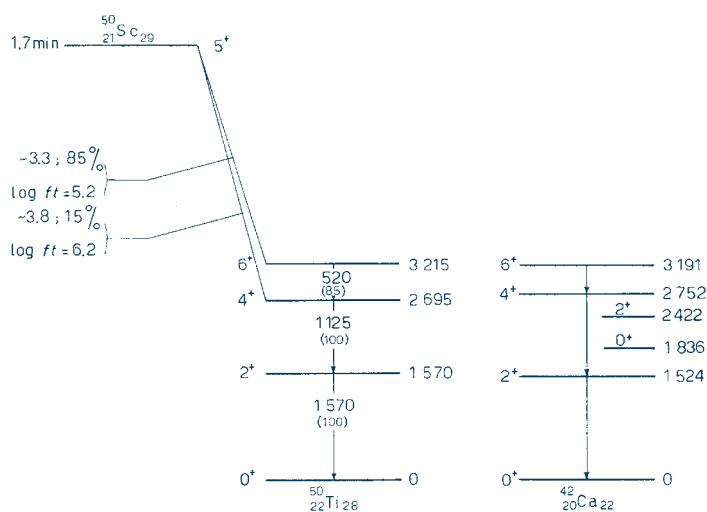


Fig. 4 Spettro γ e livelli nucleari del ^{50}Ti . La sequenza 0^+ , 2^+ , 4^+ , 6^+ della configurazione a 2 protoni nella shell $1f_{7/2}$ è confrontata con quella a 2 neutroni del ^{42}Ca , dimostrando l'indipendenza dalla carica dell'interazione efficace a 2 corpi nella shell $f_{7/2}$ (ref. [7]).



Fig. 5 Italo Filosofo con il primo gruppo di operatori dell'acceleratore CN (1965). Da sinistra a destra: G. P. Bezzon, I. Filosofo, G. Battistello, B. Azzara, G. Manente, G. Gonnella, G. Binelli.

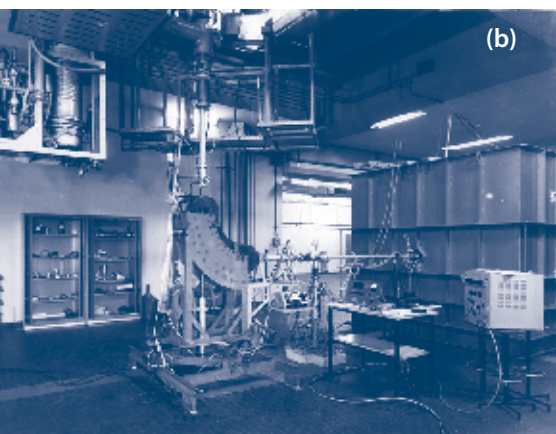
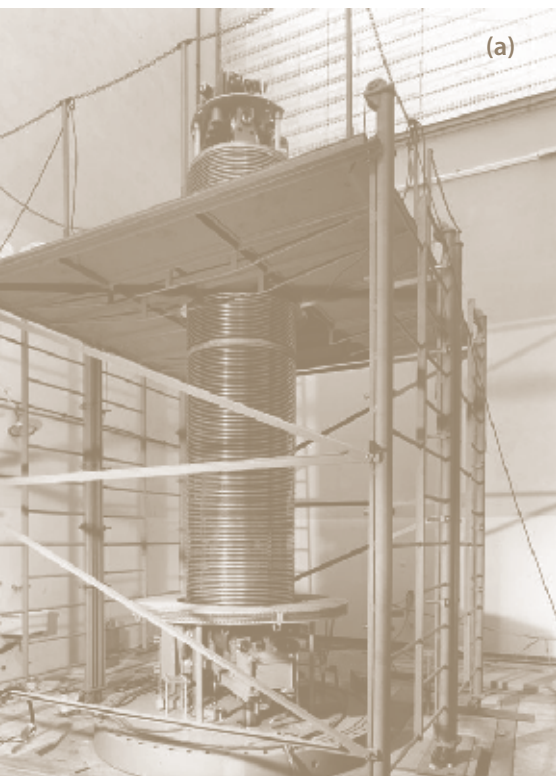


Fig. 6 (a) Installazione della colonna originaria da 5,5 MV del CN. (b) Magnete di analisi e sistema di deviazione del fascio del CN su una prima linea di utilizzazione.

proprio *deus ex machina* per l'avvio delle operazioni e delle ricerche al CN. La seconda fu l'istituzione della cattedra di fisica nucleare chiamando a ricoprirla Claudio Villi (v. fig. 3) che sarebbe stato il più valido fautore dello sviluppo della fisica nucleare in Italia fino a divenire uno dei più aperti e concreti Presidenti dell'INFN proprio negli anni di maggiori trasformazioni ed evoluzioni dell'Istituto.

La terza fu l'apertura dei Laboratori ai gruppi italiani di fisica nucleare, affidandone la direzione ad un "gringo", già peraltro coinvolto, come chi scrive, per arrivare alla loro nazionalizzazione, propugnata insieme con Villi, sotto l'egida dell'INFN. In effetti Rostagni aveva perfettamente compreso l'importanza di equilibrare le parti nello sviluppo della fisica del dopoguerra poiché (cito le sue parole in occasione dell'inaugurazione dell'anno accademico a Padova nel 1950):

"È bene che i fisici ritornino a investigare serenamente le proprietà nucleari con puro spirito scientifico. Dalla più completa conoscenza delle cose non mancheranno di scaturire fruttose applicazioni".

La messa in funzione del CN determinò quindi l'inizio di una fase più organizzata di tali ricerche a livello nazionale.

"Negli anni 1960 e 1961 – proseguono Rostagni e Villi chiarendo quanto sopra rilevato – venne svolta una intensa attività preparatoria al fine di orientare ricercatori e tecnici che antecedentemente avevano svolto attività in altri campi di ricerca, sui problemi e le tecniche della fisica del nucleo. Questa attività si protrasse anche nel 1962, parallelamente alla messa in funzione dell'acceleratore e alla costruzione delle apparecchiature ausiliarie".

In fig. 6a è mostrata l'installazione della colonna originaria e in fig. 6b il sistema di analisi e di deviazione magnetica e la costruzione delle prime linee di fascio (1962) che avrebbero permesso l'inizio dei primi esperimenti fino ad evolversi, con l'installazione

di 7 linee e il potenziamento della tensione al terminale a 7 MV insieme con la possibilità di accelerare ioni più pesanti dell'elio, verso più estese sperimentazioni.

Un importante aspetto della edificazione del Laboratorio di Legnaro, particolarmente curata da Rostagni, fu subito l'approntamento di una officina meccanica che da "officinetta di manutenzione" di 75 m² già presente nel 1961 al momento dell'entrata in funzione del CN, divenne già nel periodo 1962-64 una vera e propria officina di 270 m² attrezzata secondo i criteri più moderni (capo officina storico E. Maccato), sviluppatasi ulteriormente negli anni '70 e '80 e che ha sempre costituito un fiore all'occhiello dei Laboratori.

L'evoluzione della missione dei Laboratori di Legnaro è anch'essa spiegata nel volume citato [8]: "[...] Dal 1962 gruppi dell'Università di Bologna, Napoli, Trieste e del Centro Comunitario di Ispra sono impegnati, in collaborazione con gruppi padovani, nell'esecuzione di programmi di ricerca presso i Laboratori di Legnaro; ad esso si sono aggiunti nel 1966 un gruppo misto di Padova, del CNEN e di Firenze. Le crescenti esigenze della ricerca nucleare e il rapido sviluppo del Laboratorio, attorno al quale si era nel frattempo formato un gruppo di ricercatori e tecnici altamente qualificati, giustificano la proposta, concretata nel 1965 di installare un acceleratore Tandem tipo Emperor nelle immediate adiacenze del Laboratorio stesso; la proposta, accolta dall'INFN, è oggi inclusa nel piano quinquennale di sviluppo 1968-1972". In fig. 7 sono riportate le vedute aeree dei Laboratori di Legnaro nel 1962 e nel 1965.

Appare chiara la strategia a lungo respiro basata sulle tendenze caratterizzanti l'insieme delle ricerche di fisica dei nuclei sviluppatasi più o meno spontaneamente in Italia negli anni '50-'60. L'evoluzione dei Laboratori di Legnaro è quindi già ben delineata e saranno gli anni '70 a dimostrarne

l'efficacia. In effetti, è alla fine degli anni '60, più precisamente nel luglio 1968, che gli sforzi congiunti di Rostagni, Villi e di chi scrive (RAR), con l'aiuto dell'allora Presidente INFN Giorgio Salvini, producono l'integrazione dei Laboratori nell'INFN sancita dalla Convenzione tra INFN e Università di Padova (fig. 8) e firmata da G. Salvini, Presidente INFN, e Guido Ferro, Rettore dell'Università.

Tale strategia è resa esplicita in più documenti tra cui in particolare due, si può dire, "storici". Il primo è la nota INFN, già citata [4] che riporta "L'attività di ricerca dell'INFN dal 1966 al 1969" presentata il 3 marzo 1971 dal Presidente uscente Giorgio Salvini, in cui si affema esplicitamente, nella parte relativa a "Fisica dei nuclei e della materia nucleare": "[...] I Laboratori Nazionali di Legnaro derivano dalla trasformazione del Centro Nucleare per il Veneto dell'Università di Padova. Gli sforzi dell'INFN e dell'Università di Padova per ottenere il riconoscimento del Laboratorio di Legnaro quale Centro Nazionale dell'INFN nel settore della fisica nucleare sono stati coronati da successo il 24 luglio 1968, quando si è firmata la convenzione relativa tra il Rettore dell'Università di Padova e il Presidente dell'INFN [...]. Come ho detto, abbiamo fatto i Laboratori Nazionali di Legnaro con l'animo di chi acquista una casa grande perché sa che verranno molti figli: i ricercatori di fisica dei nuclei attendono con una certa impazienza i nuovi mezzi strumentali, considerati nel nostro Piano Quinquennale".

Il secondo documento storico è la "Relazione sul complesso di attività dell'INFN nel periodo 1970-1971" anch'essa già citata [3] di Villi alla fine del suo mandato presidenziale.

In tale documento, nella parte iniziale dedicata ai "Cenni sull'origine e lo sviluppo dell'INFN sino al 1969" (pag. XXIII) si riporta, tra i fatti più rilevanti: "Istituzione dei Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN (LNL) in base ad una convenzione stipulata

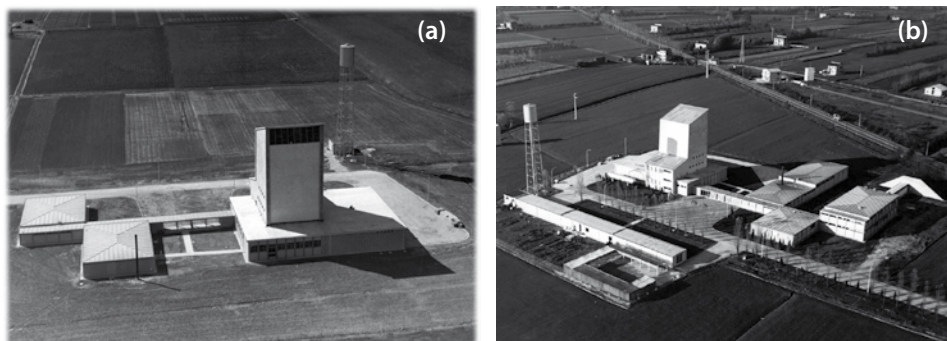


Fig. 7 I laboratori di Legnaro nel 1962 (a) e nel 1965 (b).

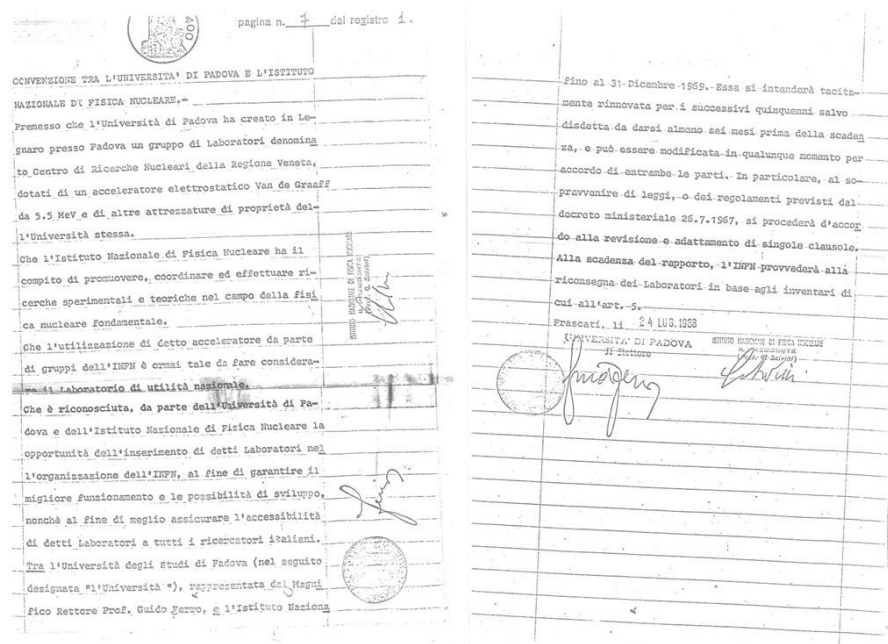


Fig. 8 Pagina iniziale della Convenzione INFN-Università di Padova (26 luglio 1968) che sancisce la trasformazione dei Laboratori di Legnaro in Laboratori Nazionali dell'INFN.



Fig. 9 (a) La colonna del CN potenziata a 7 MV di tensione. (b) Sala sperimentale del CN a 7 MV con le 7 linee di fascio e apparati di misura.

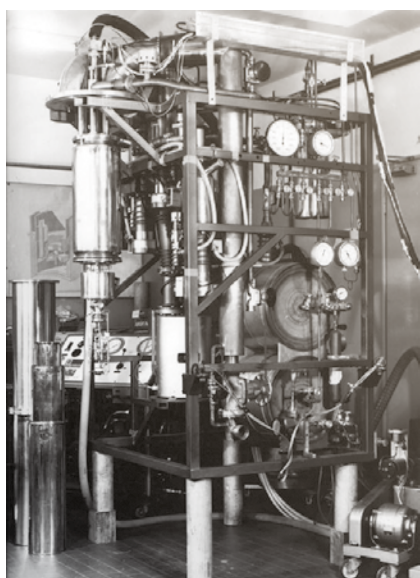


Fig. 10 Criostati e sistema di trasmissione per misure di diffusione di neutroni da bersagli nucleari (^{165}Ho) polarizzati (U. Fasoli, G. Zago, G. Galeazzi, D. Toniolo).

con l'Università di Padova il 24 luglio 1968, che affidava all'INFN l'esercizio dei Laboratori stessi, demandando all'Istituto la responsabilità della programmazione e dello svolgimento delle attività scientifica (primo direttore dei LNL è stato il Prof. Renato A. Ricci) [...] – Predisposizione del Piano Quinquennale 1970-1974 nel quale fu ribadita l'esigenza di provvedere all'avviamento delle iniziative nel campo della Fisica dei Nuclei, già indicato nel Precedente Piano Quinquennale".

È interessante segnalare qui la decisione di superare la posizione "subalterna" della fisica dei nuclei con l'inserimento a tutto campo delle grandi iniziative, le cosiddette "Torri della fisica nucleare" già preventivate nel Piano precedente (1965-1969) preparato da una apposita commissione presieduta da Giorgio Salvini a seguito di una famosa riunione, organizzata dalla Società Italiana di Fisica a Bologna nel maggio 1964 (Presidente G. Bernardini).

Gli ultimi anni '60 costituiscono quindi la fase di promozione in termini organizzativi e operativi della fisica dei nuclei atta a superare le difficoltà accennate, in particolare i vincoli di una posizione non solo ancillare ma vincolata da situazioni contingenti. In effetti, come ricorda ancora Villi: "Per fronteggiare [...] questa situazione e favorire, nei limiti del possibile, lo sviluppo della fisica dei nuclei, il Consiglio Direttivo dell'INFN promosse la stipulazione di un contratto di associazione Euratom/CNEN/INFN per il finanziamento di tale attività. Il contratto, stipulato nel dicembre 1961 [giusto al momento in cui veniva creato il Laboratorio di Legnaro, n.d.r.] e rinnovato poi sino al dicembre 1967, nacque come un espediente per superare difficoltà finanziarie ma non risolse alcun problema e ne creò degli altri". I problemi erano ovviamente dovuti da una parte al disagio dei fisici nucleari per i limiti imposti alla ricerca fondamentale e dall'altra alla posizione marginale che essi venivano oggettivamente

ad assumere in ambito INFN. Con la scadenza del Contratto alla fine del 1967 e la partenza del Piano 1974-1978 presero corpo le iniziative di fisica di nuclei con il progetto di installazione presso i Laboratori di Legnaro o alternativamente presso i Laboratori di Frascati (siamo in un periodo di crisi di questi Laboratori coincidente con la battaglia per l'autonomia dell'INFN dal CNEN e per il trasferimento dei LNF all'INFN, conclusosi nel 1976-77), che il C.D. avrebbe dovuto assumere entro il 31 dicembre 1967. La decisione fu presa, non senza qualche battaglia di chiarimento di cui anche chi scrive fu protagonista, finalmente per Legnaro.

A Legnaro agli inizi degli anni '70 si erano ulteriormente sviluppate le strutture, potenziando il CN la cui tensione venne portata a 7 MV (fig. 9a) insieme con la possibilità di accelerare ioni leggeri (C, Ne, O) e installate apparecchiature avanzate presso le 7 linee di fascio (fig. 9b) per esperimenti di spettroscopia γ sotto fascio, correlazioni angolari, diffusione elastica e inelastica di particelle cariche con camere di scattering appropriate oltre all'installazione di un ulteriore acceleratore da 400 keV con fascio pulsato costruito a Padova per misure di diffusione di neutroni e in esperimenti di polarizzazione (fig. 10), di un piccolo acceleratore da 150 kV, nonché di una struttura sottocritica per misure di parametri nucleari e per scopi didattici. (Tali apparecchiature sono state dismesse o trasferite negli anni '80.)

L'istituzione dei Laboratori Nazionali, che figura tra l'altro come primo punto del rapporto Salvini al C.D. dell'INFN del marzo 1971 [4] sancisce definitivamente l'ingresso a pieno titolo della comunità italiana dei fisici dei nuclei nell'INFN e apre una nuova fase nell'acquisizione di mezzi e strumenti per il suo successivo importante sviluppo. In fig. 11 una vista dei Laboratori negli anni '70. Ciò fu reso possibile anche grazie al supporto e alla competenza di uno staff ingegneristico e tecnico di prim'ordine affiancato

a I. Filosofo, tra cui P. Kusstatscher, F. Cervellera, B. Tiveron, G. Galeazzi, I. Scotoni, E. Maccato, G. P. Bezzon, L. Donà e tutti i componenti del gruppo operatori, dell'officina meccanica ed elettronica.

Un passo importante ed estremamente significativo, in questa fase, è l'affermarsi in modo coerente alla strategia di base di Rostagni, sostenuta da Villi e da chi scrive, di una estensione delle attività di fisica applicata, libere da vincoli esterni e limitativi (cfr. contratto Euratom), volta ad una concezione più squisitamente interdisciplinare. Ciò si ottenne favorendo lo sviluppo di fronti di ricerca quali la fisica della materia, la biomedicina e la fisica dell'ambiente con l'utilizzazione di fasci ionici. Protagonisti della promozione di questa ricerche a Legnaro sono stati i gruppi diretti rispettivamente da P. Mazzoldi, G. Moschini e P. Mittner [9]. Il fatto decisivo fu l'installazione di un nuovo acceleratore elettrostatico da 2 MV, l'AN 2000 (H.V.E.C.) (fig. 12) acquistato su fondi dell'Università di Padova e interamente dedicato al settore interdisciplinare, arricchendo tale patrimonio con un Impiantatore ionico donato dalla IBM, che potenziava tale attività prima svolta con un piccolo acceleratore casalingo messo a punto da G. Zago e P. Kusstatscher. Fino ad allora esperimenti di backscattering e channeling oltre che analisi elementale (PIXE: Proton Induced X-ray Emission) venivano effettuati in parassitaggio con fasci del CN. Tale attività si è ulteriormente sviluppata anche con l'uso intensivo dei fasci del CN, sempre meno utilizzato per la fisica nucleare, e, per particolari misure, dei fasci di ioni pesanti del Tandem. Gli apparati e le tecniche disponibili (PIXE, microbeam) hanno assicurato ormai un livello internazionale significativo in questo importante settore delle ricerche interdisciplinari dalla scienza dei materiali alla radiobiologia, al danneggiamento da radiazioni, ai beni culturali, alla fisica ambientale.

3 L'Acceleratore TANDEM e la seconda fase di sviluppo

La pietra miliare che segna l'inizio di questa fase è l'avvento dell'acceleratore Tandem per ioni pesanti che, dalla fase propositiva e progettuale (1965-1975), passa alla fase realizzativa (1975-1981) e verrà inaugurato ufficialmente il 23 gennaio 1982.

Gli importanti risultati ottenuti a Legnaro, nello studio delle strutture nucleari mediante la tecnica della spettroscopia γ sotto fascio [5] dai gruppi di Padova, Napoli e Firenze negli anni '70 avevano portato i Laboratori ad una rilevanza internazionale dimostrata dalle due conferenze di cui la prima, unica nel suo genere, a Legnaro nel 1971, specificatamente dedicata a "Structure of $1f_{7/2}$ nuclei", [10] l'altra, organizzata dalla Divisione nucleare della European Physical Society, a Firenze nel 1977 su "Physics of medium-light nuclei" [11] nelle quali i contributi italiani furono di significativo rilievo. Essi segnarono la chiara motivazione scientifica a giustificazione della proposta di acquisizione della macchina che doveva costituire la prima "facility" in Italia per la fisica degli ioni pesanti. Tali motivazioni erano già chiaramente espresse nei piani di sviluppo dei LNL ed esplicitate nella prima proposta del 1965, preparata da un gruppo di studio promosso dall'INFN (I. Filosofo, P. Kusstatscher, G. Poiani, R. A. Ricci, C. Villi), con la consulenza di A. Bromley dell'Università di Yale, costituito dall'INFN, che prefigurava ancora un Tandem MP da 10 MV. Il progetto definitivo per un Tandem Emperor da 16 MV, dettagliato in tutte le sue parti scientifiche, tecniche e finanziarie, venne presentato nel 1974 da un secondo gruppo nominato dall'INFN e formato da I. Filosofo, P. Kusstatscher, M. Morando, R. A. Ricci, C. Signorini e V. Vanzani, [12] e posto sotto la mia direzione. Da allora inizia l'iter, durato fino al 1981, con le sue vicissitudini enfatizzate da quella che chiamammo la "Caccia alla balena bianca". Da ciò il nome "Moby Dick" con

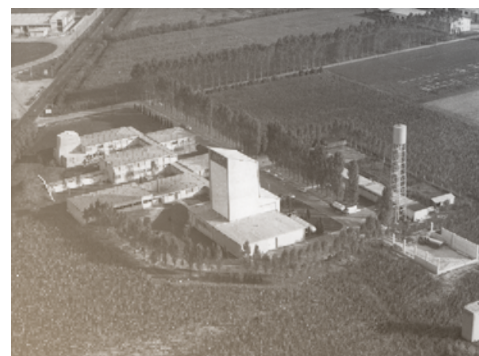


Fig. 11 Vista dei Laboratori Nazionali di Legnaro; anni '70.

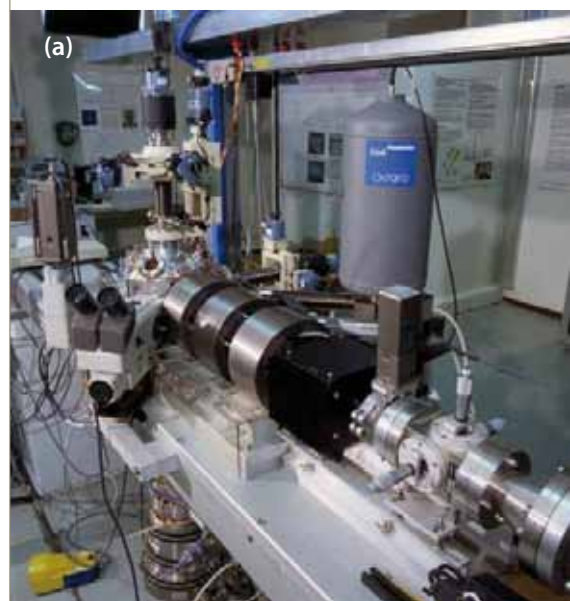


Fig. 12 (a) L'acceleratore AN2000. (b) La sala sperimentale con apparati per ricerche interdisciplinari (P. Mazzoldi, G. Moschini, R. Cherubini, P. Colautti, G. Della Mea, V. Rigato, G. Egeni, e V. Rudello).



Fig. 13 I. Filosofo e P. Kusstatscher con R. A. Ricci a Daresbury davanti alla maquette dell'acceleratore Pelletron verticale da 20 MV (1974).



Fig. 14 Il Laboratorio Tandem dei LNL.



Fig. 15 Cattura della "Balena Bianca". Legnaro 1981. Da sinistra R. A. Ricci, F. Cervellera, P. Spolaore, G. Battistello, C. Signorini, L. Donà, W. Scherr.



Fig. 16 L'intera pagina del Tempo del 23/1/1982 sull'inaugurazione del Tandem di Legnaro.



Fig. 17 Elogio e contemporaneo attacco all'avamposto della ricerca.



Fig. 18. Il pullmino del Dipartimento di Fisica di Padova opportunamente "dipinto" (aprile 1987).

cui l'acceleratore, provvisto di una "tank" veramente a forma di balena, venne battezzato.

La mobilitazione dei ricercatori, dei tecnici e di tutto il personale dei laboratori attorno al Gruppo Tandem fu certamente la più importante carta vincente per il successo dell'impresa. La fig. 13 che si riferisce ad una visita al Laboratorio di Daresbury (Regno Unito) per confrontare le caratteristiche degli acceleratori Tandem in fase di installazione presso alcuni grandi laboratori (Daresbury appunto e Yale, USA) è un omaggio al ricordo di due dei protagonisti dell'impresa di Legnaro: Italo Filosofo e Paolo Kusstatscher.

La progettazione dell'edificio (fig. 14) e la messa a punto di tutti gli impianti furono opera di colleghi della Facoltà di Ingegneria di Padova tra cui alcuni purtroppo perirono in quel periodo in un tragico incidente aereo³.

L'arpionamento finale di Moby Dick avvenne nel 1981 (fig. 15) con vari brindisi e urrah!

E ufficialmente con il test di accettazione con fasci di 32S e 132I pubblicato, a fase di routine avviata, nel 1984 [13].

L'inaugurazione vera e propria avvenne il 23 gennaio 1982. Ai 50 anni del Laboratorio CN e ai 40 dell'AN2000 si aggiungono quindi i 30 del Laboratorio Tandem, con una scadenza decennale abbastanza significativa. Si trattò di una cerimonia di notevole richiamo organizzata, dopo un tentativo "locale" nel dicembre 1981, a livello nazionale con la partecipazione dell'allora Presidente dell'INFN, Antonino Zichichi, dei Ministri G. Tesini e V. Scotti, del Rettore L. Merigliano (al quale si deve un significativo supporto dell'Università

³ Il gruppo della Facoltà di Ingegneria coinvolto nel Progetto Tandem era costituito da E. Bandelloni, R. Deaglio, G. Trapanese, A. Paolucci e L. Fellin. I primi tre purtroppo furono vittime di un tragico incidente aereo proprio in corso d'opera.

di Padova) altre autorità e rappresentanti sindacali. Il significato dell'impresa fu riportato con grande rilievo dalla stampa (v. fig. 16).

Poichè tuttavia le cose non procedono sempre in modo idilliaco, in particolare in un Paese come il nostro in cui si fa ancora oggi molta confusione sul significato della ricerca e sulla vera immagine della scienza, ecco che, sulla stampa (locale) oltre all'enfasi sull'impresa Tandem appaiono alcuni segni di contestazione (v. fig. 17) contro una presunta "tecnologia micidiale".

Per la storia sarà opportuno ricordare che sono quelli gli anni dei colpi di coda di un certo tipo di contestazione approdato al terrorismo (a Padova lo si è vissuto per intero) il cui brodo di cultura non era alieno da forme di oscurantismo antiscientifico di matrice intellettualistica. Il che è dimostrato da palesi manifestazioni a seguire tra cui quella degli attacchi, in sede universitaria, a protagonisti delle ricerche "nucleari". Vedasi, in fig. 18, l'estrinsecazione di tali "ideologie" nel cortile del Dipartimento di Fisica di Padova; siamo nell'aprile 1987 ad un anno dal disastro di Chernobyl. Oggi invece si parlerebbe di "Stregoni dell'atomo" e ne abbiamo avuto un esempio recentemente a Genova.

Ciò ovviamente lascia inalterata la soddisfazione per un evento il cui significato trascende l'installazione del primo acceleratore per ioni pesanti in Italia ma, nel contesto "storico" che stiamo raccontando, indica un altro pilastro posto a dare il via ad una nuova fase della fisica dei nuclei in Italia. Da Moby Dick (fig. 19), di cui si mostrano il sistema di trasporto di carica Laddertron (fig. 20), e una delle due sale sperimentali (fig. 21), si diparte tutta una serie di attività in sede nazionale ed internazionale con una fioritura di progetti, Laboratori, attrezzature, facilities, che hanno portato la fisica dei nuclei italiana non solo ad alti livelli competitivi ma a dotarsi di centri di



Fig. 19 L'acceleratore Tandem XTU installato e funzionante; Legnaro 1983.



Fig. 20 Particolare del Laddertron (cinghia metallica di trasporto della carica).



Fig. 21 Una delle sale sperimentali del Laboratorio Tandem con vari sistemi di rivelazione.

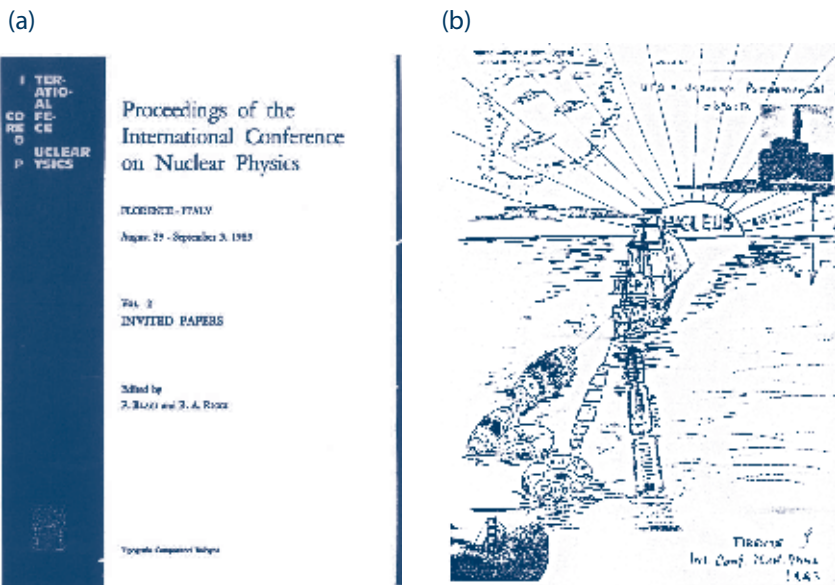


Fig. 22 (a) Frontespizio degli Atti della "International Conference on Nuclear Physics" Firenze 1983. (b) Schema dell'avvento delle varie facilities di fisica nucleare trasportate verso l'alba della ricerca di nuove conoscenze (R. A. Ricci) (da Berkeley 1980 a Firenze 1983).

attrazione per grandi collaborazioni internazionali.

Il punto di partenza è segnato dalla grande Conferenza Internazionale di Fisica Nucleare tenutasi non a caso in Italia, a Firenze, nel 1983 (fig. 22).

A Legnaro la fase Tandem trovava il suo apice con significativi risultati nel campo della spettroscopia e della dinamica nucleare in particolare sullo studio degli stati ad alto spin e con configurazioni di protoni e neutroni lontane dalle regioni classiche del modello a shell (nuclei in condizioni estreme).

È questa la fase in cui, conclusa la mia direzione, dopo 11 anni, nel 1979 e portato a termine il Progetto Tandem, gli anni '80 vedono un consolidamento del ruolo nazionale dei Laboratori sotto la direzione prima di Paolo Blasi (1979-1982) e poi di Cosimo Signorini (1983-1986) ai quali si deve la completa realizzazione del Laboratorio Tandem ed una continua evoluzione verso una sempre più estesa utilizzazione dei Laboratori non solo a livello nazionale ma anche a livello internazionale [14].



Fig. 23 (a) L'acceleratore ALPI a cavità superconduttrici. (b) Elemento QWR (risuonatore a $\frac{1}{4}$ d'onda) di ALPI (v. testo).

4 Gli ulteriori sviluppi e le basi per il futuro

Lo sviluppo impressionante dei LNL che sfocerà poi nell'installazione dell'acceleratore lineare a cavità superconduttrici ALPI (Acceleratore Lineare per Ioni Pesanti) (fig. 23) interamente costruito a Legnaro (fine anni '80-inizio anni '90) si accompagna alla definitiva consacrazione dei Laboratori Nazionali del Sud a Catania (v. nota ¹), istituiti dall'INFN nel 1976, con l'avvento di un altro Acceleratore Tandem Van de Graaf da 15 MV seguito dall'installazione nella stessa sede del Ciclotrone Superconduttore (SC) K800 costruito da F. Resmini a Milano ed entrato in operazione ai LNS nel 1996. L'ingresso dei due Laboratori Nazionali dell'INFN, destinati con successo allo sviluppo della fisica degli ioni pesanti

in Italia [15], nel novero delle "Large Scale Facilities" sancito a livello europeo alla fine degli anni '90, costituisce una ulteriore dimostrazione della lungimiranza dei protagonisti degli anni '60-'70.

Conclusa la fase "storica", tale sviluppo si accompagnava all'evoluzione delle tecniche di rivelazione, oltre che della tecnologia delle macchine e dei metodi di analisi dei dati. Nel primo caso si assisteva alla terza rivoluzione nel campo della spettrometria gamma, passando dalla prima con i rivelatori a scintillazione (i contatori a ioduro di sodio NaI(Tl) attivati al tallio) alla seconda con i rivelatori al germanio-litio Ge(Li), e infine con l'avvento dei " γ -arrays", sistemi complessi di contatori assemblati in coincidenza con grande guadagno in efficienza e risoluzione che hanno realmente aperto una nuova era nella spettroscopia nucleare. A Legnaro questa strada è stata intrapresa in modo continuo e sistematico a cominciare dallo Spettrometro GASP (responsabile C. Rossi Alvarez) il γ -array per spettroscopia nucleare (1992-2012) che iniziò la filiera di tali spettrometri nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali (GSI, Strasburgo, GANIL) con apparati quali EUROBALL (rivelatore Europeo) che ha soggiornato a Legnaro dal 1997 al 2003 e più recentemente AGATA (Advanced Gamma Tracking Array) con importanti risultati nello studio delle strutture nucleari lontane dalla valle di stabilità [16] (fig. 24). Parallelamente si sono sviluppati avanzati spettrometri per la misura di particelle cariche e ioni pesanti a partire dal primo spettrometro di massa RSM (Recoil Mass Spectrometer, gruppo C. Signorini, P. Spolaore) (fig. 25), spesso in accoppiamento con i rivelatori gamma per misure in coincidenza, quali ad esempio PRISMA-CLARA e sistemi ad alta efficienza per la dinamica e la termodinamica delle reazioni di ioni pesanti (un esempio GARFIELD, gruppo F. Gramegna, in fig. 26).

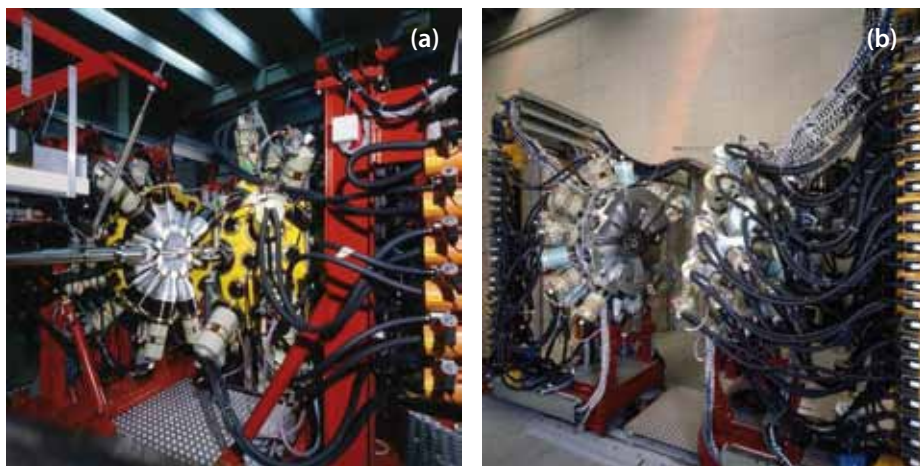


Fig. 24 (a) Particolari dei Gamma-Arrays: GASP e (b) EUROBALL.



Fig. 25 Il Recoil Mass Spectrometer (RMS).



Fig. 26 GARFIELD (General Array for Fragment Identification and Emission of Light particle Dissipative collisions).



Fig. 27 Vista aerea dei LNL (2010).

Nel secondo caso I LNL si sono distinti, a partire dagli anni '90, sotto la direzione di P. Dalpiaz (1986-1992) e di M. Nigro (1992-1998) in un notevole sforzo di adeguamento tecnologico dimostrato in particolare, partendo da un'idea già lanciata nei laboratori, dalla promozione ed esecuzione del progetto del LINAC a cavità superconduttrici. Dalla costruzione e messa a punto di cavità a radiofrequenza, tra cui la RFQ per l'iniezione di ioni pesanti all'SPS del CERN in cui i Laboratori si erano specializzati [17], si passò alle tecnologie superconduttrici e il progetto ALPI andò in porto con tecniche avanzate (cavità superconduttrici a $\frac{1}{4}$ d'onda al Pb/Nb, v. fig. 23b) che hanno portato Legnaro ad essere un centro di eccellenza nel settore con ampi risvolti anche in campo applicativo e industriale [18]. Significativa la realizzazione di un "Laboratorio di Superconduttività e Trattamento di Superfici" e per ulteriori impieghi in altri campi di ricerca dell'INFN ed altri enti interessati (gruppo V. Palmieri). Un esempio è dato, da una parte, dall'installazione di un rivelatore ultrapulito da contaminanti radioattivi al Gran Sasso per esperimenti di fisica del neutrino e, dall'altra, dall'istituzione di un Master in trattamenti di superficie per l'industria in collaborazione con l'INFM e Confindustria Veneto. Tale tecnologia, sviluppata con il concorso di una Divisione Acceleratori e una Divisione Tecnica di alto livello, ha permesso inoltre la costruzione del nuovo iniettore PIAVE (resp. A. Lombardi), con quadrupoli a radiofrequenza superconduttrici (G. Bisoffi, A. Facco, A. Pisent, A. M. Porcellato...) e sorgente ionica ECR (M. Cavenago) alternativo al Tandem. Sotto la direzione di G. Fortuna (1998-2004) il completamento di queste macchine fu realizzato, preparando il terreno all'ulteriore progettazione per il futuro compendiate nella "speranza" riposta in SPES (Selective Production of Exotic Species), ossia il progetto di un acceleratore per fasci di ioni radioattivi (prodotti per fissione indotta da protoni accelerati da un ciclotrone, in bersagli di UC_x (carburi di uranio) e ri-accelerati attraverso il complesso PIAVE-ALPI). Ciò permetterà di inserirsi nell'attuale frontiera dello studio delle specie nucleari esotiche, lontane cioè dalla regione dei nuclei vicino alla stabilità e anomale rispetto alle descrizioni classiche dei modelli nucleari. Tale compito è stato rilevato da G. Puglierin (direttore dal 2004 al 2009) al quale si deve tra l'altro un forte sviluppo delle installazioni criogeniche con aumento della potenza refrigerante del liquefattore di ALPI (R. Pengo) e quindi delle prestazioni dei fasci dell'acceleratore, nonché l'avvio delle attività in programmi energetici (fusione nucleare); e, attualmente, da G. Fiorentini, che sta portando a compimento gli sforzi per la realizzazione del programma SPES con l'avvio dell'ordine del ciclotrone per protoni (30–70 MeV) per la produzione di fasci radioattivi e della costruzione dell'edificio [18]. Nel contempo, alla visione intensiva che indica la direzione principale di marcia, i Laboratori hanno tenuto fede anche alla visione estensiva, allargando strutture e interessi non solo verso le attività interdisciplinari e tecnologiche ma altresì ad altri campi di ricerca quali la fisica nucleare di alta energia al CERN con la partecipazione (P. Boccaccio, U. Gastaldi, M. Lombardi, R. A. Ricci, L. Vannucci) alla Collaborazione OBELIX (fisica nucleare con antiprotoni e antineutroni) e oggi ALICE (ioni pesanti relativistici e ricerca del QGP,

il plasma di quark e gluoni, nella materia nucleare). A ciò aggiungasi il Laboratorio Alte Energie (LAE) provvisto di ampie aree attrezzate per l'assemblaggio di rivelatori di grandi dimensioni per esperimenti a LHC del CERN, e l'installazione dell'antenna supercriogenica AURIGA per lo studio delle onde gravitazionali. E, infine, la partecipazione dei LNL alle ricerche sulla fusione nucleare (ITER) in collaborazione con l'RFX del CNR di Padova, con la costruzione di una cavità RFQ prevista per un acceleratore lineare, costruito dall'INFN, per test di materiali d'impiego nei reattori nucleari a fusione, nonché la costituzione di un gruppo di lavoro inserito nel programma TRASCO (collaborazione ENEA-INFN) per la progettazione di un acceleratore componente un sistema ADS ("Accelerator Driven System")⁴ per la trasmutazione di scorie radioattive.

Nel terzo caso basti osservare come, dalle prime analisi con analizzatori mono e multicanali e uscita dei dati in striscie cartacee, si sia passati all'uso dei più sofisticati sistemi computerizzati e connessioni di rete. A Legnaro un primo passo fu realizzato nella fase Tandem con un sistema di acquisizione dati basato su computer PDP 11/34 connessi con un VAX 11/780 per l'acquisizione dati. Da allora il progresso è stato enorme e dal 2001 ad esempio i LNL sono dotati di una "fattoria di calcolo" che fa parte di un'ampia infrastruttura GRID dell'INFN per le necessità di calcolo degli attuali esperimenti contribuendo allo sviluppo del sistema TIER-2 per gli esperimenti CMS e ALICE al CERN⁵.

Quanto brevemente citato ha trovato in questo periodo una specie di consacrazione con una cerimonia dedicata al 50° di Legnaro (Legnaro, 8 giugno) affiancata da due importanti conferenze internazionali riguardanti la Fisica Nucleare con Fasci Radioattivi (EURORIB 12) [19] e le Ricerche Interdisciplinari con Fasci Ionici (ION BEAMS 12) [20].

Tutto ciò oggi costituisce la base per ulteriori sviluppi, nella speranza di una possibilità di percezione adeguata, sia pubblica che istituzionale, dell'importanza della ricerca scientifica, nel nostro Paese. Essa poggia sui pilastri a suo tempo costruiti e consolidati. Ma dietro i pilastri ci sono gli uomini. Alcuni sono stati qui esplicitamente nominati, molti altri lo meriterebbero; a Legnaro, di cui la [fig. 27](#) mostra l'attuale vista generale, si sono avvicendati, negli anni della fase storica, i nomi che sono riportati nel riquadro a lato.

Per essi vale quanto, a conclusione dell'impresa Tandem nel 1982, io dissi alla cerimonia di inaugurazione:

"[...] I risultati che oggi si possono toccare con mano, sono la somma di 3 termini essenziali: 1) il lavoro, la fatica, la capacità professionale e anche la rabbia del personale dei Laboratori; 2) la lungimiranza e l'intelligenza strategica dei nostri predecessori e precursori nonché la capacità di programmazione dell'INFN; 3) la convinzione, la tenacia, perfino la caparbia e la collera di chi ha sempre creduto che costruire qualcosa, anche a costo di incomprensioni e amarezze, valga sempre di più di mille discussioni accademiche e sterili".

⁴ Com'è noto il sistema ADS è stato proposto da C. Rubbia.

⁵ I sistemi di calcolo e analisi dei LNL sono stati coordinati, nel corso degli anni, da M. Morando, P. Maurenzig e G. Maron.

I pilastri e gli uomini

Bruno Azzara, Luigi Badan,
 Claudio Baiocchi, Giorgio Bassato,
 Gennaro Battistello,
 Giuseppe Battistello, Livio Bertazzo,
 Renato Bertoli, Gianpietro Bezzon,
 Giovanni Binelle, Pasquale Boccaccio,
 Elisa Bordignon, Fedora Borgatello,
 Roberto Bortolami, Rosy Boscaro,
 Carlo Bressanini, Giuliano Bressanini,
 Ettore Brezzi, Paolo Buso, Luciano Calore,
 Lia Capotorto-Zanon, Mario Carena,
 Ivone Carraro, Federico Cervellera,
 Roberto Cherubini, Paolo Colautti,
 Paolo Conconi, Luciano Costa,
 Angelo Dainese, Ferruccio Demanins,
 Mario DePoli, Gastone Donà,
 Libero Donà, Giampiero Egeni,
 Gabriella Eramo, Giacomo Eramo,
 Umberto Fasoli, Italo Filosofo,
 Agostino Fois, Graziano Fortuna,
 Leopoldo Furiato, Giuseppe Galeazzi,
 Giannino Gonella, Fabiana Gramegna,
 Paolo Kusstatcher, Franco Lazzaro,
 Mariano Lombardi, Elio Maccato,
 Claudio Manduchi, Giancarlo Nardelli,
 Giuseppe Manente, Celestino Marcomini,
 Salvino Marigo, Gaetano Maron,
 Gildo Morandin, Maurizio Morando,
 Giuliano Moschini, Ivo Motti,
 Giuseppe Muraro, Mario Negrato,
 Sergio Nonnato, Renato Pagnin,
 Cesare Pegoraro, Ruggero Pengo,
 Fausto Pellegrini, Antonio Pietschman,
 Carla Piva, Silvano Piva,
 Anna Maria Porcellato, Renato Preciso,
 Gianfranco Prete, Armando Rinaldi,
 Francesca Rossetto, Verardo Rudello,
 Maria Teresa Russo-Manduchi,
 Fabio Scarpa, Paolo Schiavon,
 Giovanni Sgarabottolo, Iginio Scotoni,
 Cosimo Signorini, Paola Spolaore,
 Marina Stefani, Alberto Stefanini,
 Getullio Talpo, Luigi Tiso, Bruno Tiveron,
 Egle Tomasi, Domenico Toniolo, Giorgio
 Torielli, Luigi Vannucci, Vittorio Vanzani,
 Gabriele Vedovato, Michela Venco,
 Giuseppe Viesti, Alessandro Zanon,
 Dimitri Zafropoulos, Guido Zago,
 Giorgio Zannoni, Chiara Zecchin,
 Elia Zecchin, Luigi Ziomi.

Ringraziamenti

Ringrazio il Direttore dei LNL, Gianni Fiorentini, per la possibilità concessami per la raccolta del materiale necessario presso i Laboratori e la sollecitudine mostratami nel corso di questo lavoro e della cerimonia per il 50° anniversario dei Laboratori di Legnaro; gli ex-direttori Piero Dalpiaz, Massimo Nigro e Gabriele Puglierin, oltre a Paolo Mazzoldi e Giuliano Moschini per le preziose informazioni fornitemi, Luigi Vannucci e Paola Spolaore per l'assistenza e l'aiuto nella raccolta dati e nella preparazione delle figure, Fabiana Gramegna, Gaetano Maron, Valentino Rigato, Roberto Cherubini, per la preziosa collaborazione in tale contesto, Alessandro Pascolini e Giulio Peruzzi per alcuni riferimenti storici, i servizi di documentazione e di segreteria dei Laboratori e, last but not least, la vecchia guardia e il personale dei Laboratori che mi hanno fornito, oltre ai preziosi personali ricordi, un'ampia documentazione fotografica.

Un grazie anche alla SIF e al Presidente Luisa Cifarelli per aver accolto con favore questo lavoro per il Nuovo Saggiatore, e Angela Oleandri e Cristina Calzolari per la paziente collaborazione nella sua redazione.

Bibliografia

- [1] E. Amaldi, "Gli anni della ricostruzione", *G. Fis.*, 20 (1979) 186.
- [2] V. G. Tagliaferri, "Le scienze esatte all'Università di Milano", in "Storia di Milano", vol. 18 (Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma) 1995, p. 659.
- [3] C. Villi, "La fisica nucleare fondamentale in Italia", Relazione sulle attività INFN dal 1970 al 1975, al XXX anniversario INFN, Roma 1975 (CLEUP Padova) 1976. V. anche R. A. Ricci "La fisica di nuclei in Italia dopo la guerra. Un'eredità scientifica e pacifica" in "La crisi energetica nel mondo e in Italia. Da Enrico Fermi ed Edoardo Amaldi a oggi", a cura di C. Bernardini e G. Salvini (Ed. Dedalo, Bari) 2007, p. 63.
- [4] G. Salvini: "L'attività di ricerca dell'INFN dal 1966 al 1969", Relazione del 3 marzo 1971 al Consiglio Direttivo INFN.
- [5] Cfr. R. A. Ricci, "Phenomenological Nuclear Spectroscopy", *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"*, Course CLXIX, a cura di A. Covello, F. Iachello, R. A. Ricci e G. Maino (IOS Press, Amsterdam and SIF, Bologna) 2008 p. 29; v. anche: R. A. Ricci, "Electrostatic accelerators in the development of nuclear physics in Italy", *Nucl. Instrum. Methods A*, 328 (1993) 355.
- [6] R. A. Ricci and P. Maurenzig: "The $1f_{7/2}$ Problem in Nuclear Spectroscopy", *Riv. Nuovo Cimento*, 1 (1969) 291.
- [7] G. Chilosi, P. Cuzzocrea, G. B. Vingiani, R. A. Ricci, H. Morinaga: "Lower excited states of ^{50}Tl ", *Il Nuovo Cimento*, 27 (1963) 86.
- [8] A. Rostagni e C. Villi: "I Laboratori di Legnaro" (Università di Padova-Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Padova) 1967. V. anche A. Rostagni, P. Kusstatscher, A. Paolucci "I Laboratori dell'Acceleratore da 5,5 MeV dell'Università di Padova", *Notiziario CNEN* 12, 1962.
- [9] P. Mazzoldi e G. Moschini (a cura di) "Three-day in depth-review on nuclear accelerator impact in the interdisciplinary field", *Proc. Int. Symp. LNL*, (Laboratori Nazionali di Legnaro) 1984.
- [10] R. A. Ricci (a cura di) "The structure of $1f_{7/2}$ nuclei", *Proc. Top. Conf.*, Legnaro 1971, (Ed. Compositori, Bologna) 1971; Atti dedicati alla memoria di Guido Chilosi protagonista di queste ricerche in quegli anni e scomparso poco dopo la Conferenza in un incidente di montagna.
- [11] P. Blasi e R. A. Ricci (a cura di) "Physics of medium-light nuclei", *Proc. Top. Conf. Firenze 1977*, (Ed. Compositori, Bologna) 1978.
- [12] "Proposta di installazione di un acceleratore Tandem presso i Laboratori Nazionali di Legnaro" INFN, Legnaro 1974; v. anche R. A. Ricci and C. Signorini: "The XTU Tandem of the Laboratori Nazionali di Legnaro", *Nucl. Instrum. Methods* 146 (1977) 93.
- [13] C. Signorini, G. Bezzon, F. Cervellera, P. Spolaore, R. A. Ricci, "Acceptance Test of the Legnaro XTU Tandem", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, 220 (1984) 30-36; v. anche R. A. Ricci and C. Signorini: "On the XTU Tandem of the Laboratori Nazionali di Legnaro", *Nucl. Instrum. Methods*, 184 (1981) 35.
- [14] Cfr. R. A. Ricci e A. Stefanini (a cura di) "I Laboratori Nazionali di Legnaro", *Notiziario INFN*, vol. 2, n. 2 (1986) 1, v. anche ref. [16].
- [15] Cfr. E. Migneco, P. Dalpiaz, R. A. Ricci: "Heavy Ion Physics in Italy", *Nucl. Phys. News*, vol.1, n.2 (1990) 12.
- [16] Cfr. S. Lunardi, R. A. Ricci, W. Von Oertzen (a cura di) "Structure of nuclei under extreme conditions", *Proc. 16th Nucl. Phys. Conf. EPS*, Padova 1998, *Il Nuovo Cimento A*, 111 (1998) 561.
- [17] Cfr. "CERN Heavy-Ion Facility. Design Report", CERN 93-01, 1993; "Lead Accelerator Facility", CERN coll. PS/DI Note 9503, 1995. V. anche A. Lombardi, A. Pisent; G. P. Bezzon, F. Cervellera, M. Comunian, A. Facco, G. Fortuna, M. Lollo, S. Marigo, M. F. Moisis, R. A. Ricci, "The final result of the IPR Project", *LNL Annual Report 1994*, INFN/LNL, p. 233.
- [18] Cfr. Annual Report 2008 e Annual Report 2010, INFN/LNL.
- [19] "EURORIB 12", *European Radioactive Ion Beam Conference 2012*, Abano, May 20-25, 2012.
- [20] "ION BEAMS'12" *Multidisciplinary Application of Nuclear Physics with Ion Beams*; *LNL June 6-8, 2012*.

Renato Angelo Ricci

Laureato in fisica nel 1950 presso l'Università degli Studi di Pisa e diplomato presso la Scuola Normale Superiore nel 1951, ha perfezionato gli studi in fisica atomica e nucleare a Parigi, presso l'École Polytechnique e il Collège de France, come allievo dei premi Nobel Louis de Broglie e Frédéric Joliot Curie. Docente e ricercatore di fisica generale sperimentale e nucleare presso le Università di Pisa, Torino, Napoli, Firenze, Padova, ha diretto attività di ricerca in fisica nucleare e fisica applicata oltre che in Italia, in Olanda, Francia, Brasile, Germania. Pioniere nello sviluppo in Italia della spettroscopia nucleare e della fisica degli ioni pesanti, è autore di oltre 300 pubblicazioni nel campo della fisica nucleare fondamentale e applicata, oltre che di articoli e rassegne connessi con l'informazione scientifica e con i problemi energetici e ambientali. È stato Direttore dei Laboratori Nazionali di Legnaro, Vice-Presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Presidente della Società Italiana di Fisica (SIF) e della Società Europea di Fisica (EPS). È attualmente: Professore Emerito dell'Università degli Studi di Padova, Presidente Onorario della Società Italiana di Fisica, Fellow della EPS, Presidente dell'Associazione Galileo2001 e Presidente Onorario dell'Associazione Italiana Nucleare.

