

*Maestri e allievi
nella fisica italiana
del Novecento*

a cura di
Luisa Bonolis



Percorsi della Fisica

Università degli Studi di Pavia
Dipartimento di Fisica Alessandro Volta
Istituto Italiano per gli Studi Filosofici

Percorsi della Fisica

Collana diretta da
GIUSEPPE GIULIANI

Comitato Scientifico

Antonio Casella
Giancarlo Campagnoli
Mauro Carfora
Giacomo D'Ariano
Giuseppe Giuliani
Attilio Rigamonti

 La Goliardica Pavese

La Goliardica Pavese srl
Viale Golgi, 2 - 27100 Pavia
www.lagoliardicapavese.it
email: info@lagoliardicapavese.it

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte può essere riprodotta in alcun modo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) senza il permesso dell'Editore.

ISBN 978 - 88 - 7830 - 487 - 1

Finito di stampare nel mese di luglio 2008 da *Grafiche Speed 2000*, Peschiera Borromeo (Milano)

*Maestri e allievi
nella fisica italiana
del Novecento*

a cura di

Luisa Bonolis



Percorsi della Fisica

Indice

| | |
|--|------------|
| Prefazione | vii |
| Introduzione | xi |
| 1 Mario Ageno | 1 |
| 1.1 Con Edoardo Amaldi a via Panisperna | 2 |
| 1.2 Il “nuovo” Istituto di Fisica | 7 |
| 1.3 Il nostro debito verso Edoardo Amaldi | 14 |
| 1.4 L’uomo Segrè: ricordi di un allievo | 32 |
| 1.5 Ricordo di “zia Nella” | 36 |
| 2 Sebastiano Sciuti | 41 |
| 2.1 Le conferenze di Orso Mario Corbino | 42 |
| 2.2 A lezione da Ettore Majorana | 43 |
| 2.3 Le prime ricerche sui raggi cosmici | 49 |
| 2.4 Raggi cosmici in tempo di guerra | 50 |
| 2.5 Il Laboratorio della Testa Grigia | 53 |
| 2.6 Passaggio alla fisica nucleare | 59 |
| 3 Giulio Cortini | 69 |
| 3.1 La famiglia e gli studi a Roma | 71 |
| 3.2 La laurea e gli anni della guerra | 73 |
| 3.3 I raggi cosmici e le prime ricerche | 80 |
| 3.4 L’antiprotone | 84 |
| 3.5 L’insegnamento | 87 |
| 3.6 Il Laboratorio di Didattica | 90 |
| 4 Giorgio Salvini | 95 |
| 4.1 Introduzione | 97 |
| 4.2 Il ritorno dalla guerra | 99 |
| 4.3 La ricerca in raggi cosmici dal 1945 al 1949 | 101 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.4 | La scoperta di Conversi, Pancini e Piccioni | 110 |
| 4.5 | Le ricerche alla Testa Grigia. | 111 |
| 4.6 | L'invito negli Stati Uniti | 115 |
| 4.7 | Nuovi rivelatori di raggi cosmici | 121 |
| 4.8 | Alcune considerazioni sui raggi cosmici | 124 |
| 4.9 | Dopo i raggi cosmici: 1952–2006 | 126 |
| 4.9.1 | Fotoproduzione e interazione elettrone–positrone | 126 |
| 4.9.2 | Scoperta e proprietà dei Bosoni intermedi W^\pm e Z^0 | 128 |
| 4.9.3 | Altri impegni (1990–2006) | 128 |
| 5 | Alberto Gigli Berzolari | 143 |
| 5.1 | Premessa | 144 |
| 5.2 | Gli anni dell'immediato dopoguerra e gli incontri con Edoardo Amaldi | 145 |
| 5.3 | Ricerche condotte a Roma negli anni 1948–1953 | 149 |
| 5.3.1 | Ricerche sulla struttura degli sciami estesi | 149 |
| 5.3.2 | Ricerche sulla produzione di secondari penetranti | 150 |
| 5.3.3 | Studi teorici e sperimentali sul comportamento dei sistemi gas–vapore sotto l'azione di agenti ionizzanti | 152 |
| 5.4 | Ricerche condotte a Genova negli anni 1953–1959 | 156 |
| 5.4.1 | Studi teorici e sperimentali sul comportamento dei sistemi instabili gas–vapore sotto l'azione di agenti ionizzanti | 156 |
| 5.4.2 | Studi sul comportamento delle soluzioni fortemente sopras- sature di gas in liquidi sotto l'azione di agenti ionizzanti | 159 |
| 5.5 | Gli esperimenti NADIR e NN2 | 163 |
| 5.6 | La sperimentazione intorno al progetto ICARUS (anni 1990) | 165 |
| 6 | Giorgio Careri | 173 |
| 6.1 | Sguardo retrospettivo | 175 |
| 6.2 | Spettrometria di massa per abbondanze isotopiche a Roma nel 1950 | 176 |
| 6.3 | Ricerche interdisciplinari | 180 |
| 7 | Giovanni Boato | 185 |
| 7.1 | Premessa | 186 |
| 7.2 | Infanzia e prima giovinezza | 186 |
| 7.3 | La laurea in chimica a Genova | 188 |
| 7.4 | Fisica nucleare a Roma | 191 |
| 7.5 | Lo spettrometro di massa | 195 |
| 7.6 | La vita dell'Istituto di Fisica a Roma | 196 |
| 7.7 | La laurea in Fisica | 201 |
| 7.8 | Il laboratorio di Harold Urey a Chicago | 206 |
| 7.9 | <i>L'Institute for Nuclear Studies</i> | 212 |
| 7.10 | A Genova con Ettore Pancini | 216 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.11 | Spettrometria di massa e frazionamenti isotopici | 218 |
| 7.12 | Bassissime temperature | 222 |
| 7.13 | La cattedra a Genova | 223 |
| 7.14 | Il secondo periodo americano. | 225 |
| 7.15 | Vita in Istituto ai tempi del '68 | 228 |
| 7.16 | Il Gruppo Nazionale di Struttura della Materia | 234 |
| 7.17 | L'avvio della fisica delle superfici | 237 |
| 7.18 | Diffrazione di elio | 238 |
| 7.19 | Viaggio in Giappone | 239 |
| 7.20 | La nuova Sede dell'Istituto di Fisica | 243 |
| 7.21 | Il Museo di Fisica | 246 |
| 7.22 | La Storia della fisica | 248 |
| 8 | Gianfranco Corazza | 259 |
| 8.1 | La prima giovinezza e la guerra | 259 |
| 8.2 | Gli studi universitari a Pisa | 261 |
| 8.3 | Prime esperienze con il "vuoto" | 262 |
| 8.4 | L'Elettrosincrotrone | 263 |
| 8.5 | AdA e la sfida dell'ultra-vuoto | 271 |
| 8.6 | Fisica delle alte energie: Adone e Super ProtoSincrotrone del CERN | 281 |
| 9 | Giordano Diambrini Palazzi | 287 |
| 9.1 | Attività di ricerca prima del 1970 | 288 |
| 9.2 | Cornell University (1968–1970) | 291 |
| 9.3 | Ricerca al CERN | 293 |
| 9.4 | Polarizzazione a SLAC e a LEP | 295 |
| 9.5 | Esperimento LEP–5 | 297 |
| 9.6 | Rivelazione di onde gravitazionali | 298 |
| 9.7 | Esperimento MQC (Macroscopic Quantum Coherence) | 299 |
| 9.8 | Ricerche su storia della scienza, epistemologia e problemi cosmologici | 299 |
| 10 | Franca Magistrelli | 307 |
| 10.1 | Premessa | 307 |
| 10.2 | Periodo di PERSICO (1951–1957) | 310 |
| 10.3 | Periodo di BRUNELLI (1957–1970) | 317 |
| 10.4 | Periodo di COPPI (dal 1981 in poi) | 328 |
| 11 | Mario Grilli | 333 |
| 11.1 | Ricordi di un emigrante (intellettuale) da Napoli a Padova | 333 |
| 11.2 | Il "gruppo lastre" di Padova | 338 |
| 11.3 | Fisica delle particelle e congressi internazionali negli anni cinquanta | 345 |
| 11.4 | Appendice 1 | 352 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 11.5 | Appendice 2 | 357 |
| 12 | Carlo Bernardini | 361 |
| 12.1 | La formazione giovanile e gli anni universitari | 362 |
| 12.2 | L'incontro con Enrico Persico e l'ingresso nella ricerca | 366 |
| 12.3 | Il lavoro con l'elettrosincrotrone di Frascati | 369 |
| 12.4 | Bruno Touschek e la fisica delle alte energie | 371 |
| 12.5 | Il post-AdA | 376 |
| 12.6 | Politica e scienza | 380 |
| 12.7 | Didattica, storia e disarmo | 383 |
| 13 | Guido Pizzella | 395 |
| 13.1 | Introduzione | 396 |
| 13.2 | Perché fisica? | 396 |
| 13.3 | Il posto e i rapporti con l'industria | 398 |
| 13.4 | Inizio delle ricerche spaziali | 399 |
| 13.5 | Ricerche spaziali in Italia | 401 |
| 13.6 | La contestazione studentesca | 402 |
| 13.7 | Nascita della ricerca delle onde gravitazionali | 403 |
| 13.8 | Le onde gravitazionali in Relatività Generale | 404 |
| 13.9 | Funzionamento di rivelatori risonanti | 406 |
| 13.10 | La SN1987A | 407 |
| 13.11 | I rivelatori di onde gravitazionali EXPLORER e NAUTILUS | 412 |
| 13.12 | Inaspettati segnali dai raggi cosmici | 414 |
| 13.13 | Onde Gravitazionali? | 416 |
| 13.14 | Il ruolo di Edoardo Amaldi nella ricerca delle onde gravitazionali | 420 |
| 14 | Mario Bertino | 423 |
| 14.1 | Con Marcello Conversi | 423 |
| 14.2 | Ai laboratori del CERN di Ginevra | 424 |
| 14.3 | Il lavoro con Adone | 426 |
| 14.4 | Al Fermilab | 429 |
| 14.5 | L'esperimento NADIR | 430 |
| 14.6 | Il calorimetro a fibre scintillanti | 433 |
| 15 | Andrea Frova | 437 |
| 15.1 | La scelta della fisica | 438 |
| 15.2 | La tesi sui semiconduttori | 442 |
| 15.3 | Negli USA da Bardeen e ai <i>Bell Labs</i> | 444 |
| 15.4 | Rientro in Italia | 448 |
| 15.5 | La spettroscopia modulatore | 449 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 15.6 | Celle solari e nanostrutture | 451 |
| 15.7 | La scienza dei materiali | 456 |
| 15.8 | Italia, paese in via di de-sviluppo | 458 |
| 15.9 | Fisica e musica | 462 |
| 16 | Ettore Salusti | 469 |
| 16.1 | Gli anni di università | 470 |
| 16.2 | La laurea e il viaggio negli Stati Uniti | 473 |
| 16.3 | Il ritorno a Roma | 477 |
| 16.4 | L'Oceanografia | 480 |
| 17 | Carlo Di Castro | 495 |
| 17.1 | La prima formazione culturale | 496 |
| 17.2 | Fisica: una scelta combattuta | 500 |
| 17.3 | Una tesi sull'elio superfluido | 503 |
| 17.4 | Il dottorato a Birmingham e il ritorno a Roma | 505 |
| 17.5 | I fenomeni critici | 508 |
| 17.6 | La collaborazione con Gianni Jona-Lasinio | 511 |
| 17.7 | Sistemi elettronici correlati e l'inizio della collaborazione con Clau- dio Castellani | 520 |
| 17.8 | I sistemi disordinati | 521 |
| 17.9 | La superconduttività ad alta temperatura | 527 |
| 17.10 | La formazione di una scuola e la sperimentazione organizzativa dell'Università | 534 |
| 18 | Giulia Pancheri | 543 |
| 18.1 | Introduzione | 545 |
| 18.2 | The Bloch–Nordsieck paper | 548 |
| 18.3 | The Bloch–Nordsieck covariant formalism by Touschek and Thirring | 550 |
| 18.4 | Schwinger's Ansatz on the exponentiation of the infrared factor | 553 |
| 18.5 | Status of the field in the early sixties | 555 |
| 18.6 | The Bond factor: the Adone project and the radiative correction work | 555 |
| 18.7 | Radiative corrections for e^+e^- colliding beam experiments | 556 |
| 18.8 | The afterlife of the Bond factor: from radiator to Regge trajectory | 560 |
| 18.9 | The Bloch–Nordsieck states in momentum variable | 561 |
| 19 | Sergio Di Liberto | 567 |
| 19.1 | La lunga vita delle emulsioni nucleari | 567 |
| 19.2 | Vita scientifica di un fisico nucleare a Roma | 583 |
| 19.2.1 | Premessa | 583 |
| 19.2.2 | Gli anni del precariato | 584 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 19.2.3 | I concorsi e il posto di lavoro permanente | 585 |
| 19.2.4 | La mobilità e l'attività scientifica all'estero | 587 |
| 19.2.5 | I livelli di carriera e le retribuzioni | 588 |
| 19.2.6 | Finanziare la ricerca in fisica nucleare | 590 |
| 19.2.7 | La burocrazia scientifica | 591 |
| 20 | Paolo de Bernardis, Silvia Masi | 595 |
| 20.1 | Pionieri del Fondo Cosmico | 596 |
| 20.2 | I voli di pallone da Trapani | 599 |
| 20.3 | ARGO | 603 |
| 20.4 | BOOMERanG | 607 |
| 20.5 | Polarimetria dall'Antartide e dallo Spazio | 613 |
| 20.6 | OLIMPO | 615 |
| | Indice dei nomi | 619 |
| | Glossario | 633 |

Prefazione

Tuttora, il bagaglio culturale acquisito dai fisici durante la loro formazione è carente di ‘sensibilità storica’, se si eccettuano alcune frange di aspiranti insegnanti. Ciò rende da un lato difficile una corretta valutazione delle linee di sviluppo della ricerca contemporanea; dall’altro, favorisce un atteggiamento passivo, di mera acquisizione acritica delle conoscenze considerate acquisite. Queste conoscenze, rivisitate con curiosità storica e sensibilità epistemologica, riacquistano invece le caratteristiche di materia ancora viva da cui è possibile trarre anche spunti per nuove ricerche. Inoltre, una percezione debole del carattere storico dell’attuale organizzazione della ricerca, renderà meno efficaci i tentativi di modificarla: è alquanto improbabile che un quadro storiograficamente incerto ed opaco possa potenziare la capacità di coordinamento e indirizzo delle ricerche future.

Questa scarsa sensibilità comporta, per quanto riguarda la seconda metà del Novecento in Italia, la perdita irreversibile di testimonianze e documenti che risulterebbero preziosi per futuri tentativi di ricostruzione storica. Le eccezioni sono poche e, non casualmente, riguardano i due settori di ricerca che hanno caratterizzato la fisica in Italia nel periodo considerato: la fisica nucleare e subnucleare e la fisica della materia. Tuttavia, anche queste eccezioni sono figlie di contingenze locali e di iniziative di piccoli gruppi; manca invece un impegno diffuso teso alla raccolta e conservazione di documenti e testimonianze.

Nella primavera del 1982 partecipai a Parigi, insieme a Silvana Galdabini, ad una settimana di lavoro del gruppo di storici che si stava allora occupando della nascita della fisica dello stato solido¹. Quella istruttiva esperienza rafforzò in noi l’idea di occuparci, usando anche le tecniche della “oral hi-

¹L. Hoddeson, E. Braun, J. Teichmann, S. Weart (Editors) *Out of the Crystal Maze: Chapters from The History of Solid State Physics*, Oxford University Press (USA), 1992.

story”, dello sviluppo della fisica della materia in Italia. Registrammo così le nostre prime interviste (Piero Caldirola (1983), Luigi Giulotto (1983), Giorgio Montalenti (1984) e Piergiorgio Bordini (1984)). Naturale conseguenza fu allora l’organizzazione del Convegno *The Origins of Solid State Physics in Italy: 1945 - 1960* con contributi di alcuni storici, ma soprattutto, con testimonianze di fisici ². Con i tempi rapsodici imposti dalle limitate risorse umane (nonché dalla scarsità dei mezzi materiali) il progetto andò avanti con una serie di interviste realizzate, in prevalenza, insieme a Ilaria Bonizzoni ³. La donazione, da parte di Gilda Olivelli, dell’archivio “Luigi Giulotto” ha stimolato la realizzazione della versione digitale dell’intero archivio (circa tremila documenti) consultabile in rete ⁴.

Un’altra iniziativa, di ben più ampio respiro, riguarda la documentazione che il gruppo di Storia della Fisica di Roma ha raccolto e ordinato intorno agli archivi di Edoardo Amaldi, Mario Ageno, Marcello Conversi, Giovanni Gentile jr., Enrico Persico, Bruno Touschek e Claudio Villi ⁵.

Tuttavia, in entrambi i casi, il problema di quanti e quali documenti rendere consultabili in rete - trovando un difficile equilibrio tra le esigenze dello studioso (accesso libero) e la tutela della sfera privata - non è stato ancora risolto in modo soddisfacente con il risultato che i documenti direttamente accessibili sono numericamente trascurabili ⁶.

Questo volume di Luisa Bonolis si inserisce con naturalezza in questa Collana e nel filone di ricerca storica sopra delineato. Esso aggiunge, a quelle già disponibili, ulteriori testimonianze di protagonisti della fisica italiana degli ultimi decenni. L’impegno e la passione che caratterizza il lavoro di

²G. Giuliani, a cura di, *The beginning of Solid State Physics in Italy: 1945 - 1965*, Editrice Compositori (Bologna) 1988. I fisici presenti al Convegno erano: André Guinier, Nevill Mott, Frederick Seitz, Aurelio Ascoli, Maria Asdente, Franco Bassani, Giovanni Boato, Gianni Bonera, Piergiorgio Bordini, Giuseppe Caglioti, Paolo Camagni, Gianfranco Chiarotti, Roberto Fieschi, Adriano Gozzini, Alfonso Merlini, Giorgio Montalenti, Beatrice e Ugo Palma, Attilio Rigamonti, Franco Scaramuzzi, Daniele Sette, Mario Tosi. Si veda anche la pagina: <http://fisicavolta.unipv.it/percorsi/ssp.asp>

³I. Bonizzoni, ‘Le interviste’, in: G. Giuliani, a cura di, *Per una storia della fisica italiana: 1945 - 1965. Fisica della materia, fisica teorica, insegnamento della Fisica*, La Goliardica Pavese (Pavia), 2002.

⁴<http://fisicavolta.unipv.it/asf>

⁵<http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/archivio/archivio.html>

⁶La non accessibilità diretta del materiale non dovrebbe avere motivazioni diverse dalla tutela della sfera privata. Per quanto concerne l’archivio “Luigi Giulotto”, è in corso una revisione del materiale tesa ad aumentare significativamente il numero dei documenti direttamente accessibili in rete.

Luisa Bonolis è testimoniato anche dalla cura con cui ha corredato i testi degli scritti e delle interviste con numerose fotografie, dai preziosi indici dei nomi e degli argomenti e dalle ampie bibliografie. Quello che non può trasparire è l'oscuro e tenace lavoro che sottende imprese di questo tipo e le rende possibili, lavoro per il quale dobbiamo esserle grati.

Giuseppe Giuliani

Introduzione

La scienza guarda al futuro, lo prepara, lo costruisce. Gli scienziati, i fisici vivono in quella dimensione temporale sospesa tra presente e avvenire che scandisce l'attività di ricerca; immersi nella "storia", troppo spesso non riflettono sul procedere degli eventi che restituisce il suo pieno significato anche al loro lavoro ⁷. Tra passato e presente si muovono invece gli storici, per indagare e ricostruire la trama complessa da cui emergono, come punte di iceberg, le conquiste della ricerca. Sembrano (e nella pratica spesso lo sono) due strade diverse, due dimensioni separate. Ma una riflessione più attenta rivela l'unità profonda tra l'impresa scientifica nel suo divenire e la sua storia, che viene stratificandosi giorno dopo giorno in una consapevolezza più completa di quel divenire. Esiste tra loro un terreno comune, che non è la semplice somma di due discipline, ma molto di più e di più essenziale: un patrimonio culturale unico o, se si vuole, una doppia "chiave" per aprire una stessa esperienza del conoscere. Gli storici dunque non sono (non devono essere) "archeologi", studiosi con lo sguardo rivolto a un passato più o meno lontano, ma più propriamente operatori dalla natura "bifronte", capaci di seguire e apprezzare nelle grandi linee la ricerca di punta, luogo della massima tensione, che fornisce la chiave per comprendere molti degli elementi caratteristici della ricerca scientifica di tutti i tempi. Ma questo rapporto vitale va costruito. Tra i compiti naturali degli storici deve avere una parte importante la responsabilità di attirare l'attenzione dei fisici "militanti" sul valore culturale della ricerca storica, sull'integrazione

⁷Questa ricerca è stata parzialmente finanziata dall'INFN. Questa ricerca e la pubblicazione di questo volume è stata parzialmente finanziata dal MIUR attraverso il co - finanziamento PRIN 2003 - 2005 "Dalla ricerca sui raggi cosmici alla nascita e lo sviluppo dei laboratori nazionali di Frascati e alle collaborazioni con il CERN" e attraverso il co - finanziamento Prin 2005 - 2007 "La fisica nucleare e subnucleare in Italia dagli anni 1930 agli anni 1970".

dei due modi di accesso alla conoscenza scientifica - integrazione che è già potenzialmente nelle cose, nel procedere reale degli eventi, e che dev'essere trasferita nella consapevolezza di tutti coloro che indagano, con metodologie diverse, il mondo fisico. Soprattutto dalla grande accelerazione del pensiero scientifico degli ultimi decenni dell'Ottocento è venuta facendosi estremamente fitta la trama delle interrelazioni tra molteplici centri di ricerca, tra percorsi paralleli di scoperta, tra ipotesi che determinano direzioni nuove di indagine. Così che, se per i secoli precedenti sembrava poter bastare la ricostruzione di grandi figure che avevano segnato il progresso della conoscenza, nel mondo attuale il sapere si configura come acquisizione permanente - sempre rinnovata col mutare della prospettiva - di questa complessa rete nelle cui maglie si rivelano non gli episodi di una cronaca minore ma i significati del procedere delle idee, dell'esperienza che l'uomo va facendo del suo essere nella realtà fisica. Il "come" si è giunti a un esperimento, a una teoria, è non meno importante del risultato raggiunto.

Fino alla fine degli anni '50, l'interesse verso il passato scientifico era piuttosto scarso. Tuttavia, all'inizio degli anni '60 l'American Physical Society e l'American Philosophical Society formarono un comitato per promuovere lo studio della fisica teorica e in particolare diressero i loro primi sforzi in direzione di una ricerca sulle fonti per la storia della fisica quantistica. Un programma assai articolato prevedeva la localizzazione di documenti e apparati strumentali di rilevante importanza storica, la raccolta di fonti biografiche e bibliografiche e l'avvio di pubblicazioni sullo sviluppo della fisica negli Stati Uniti. In questo modo, i manufatti della scienza diventarono oggetti culturali a tutti gli effetti, in nessun modo inferiori agli altri oggetti della cultura umana che la società ha fin dall'antichità collezionato, protetto e considerato veri e propri tesori. In particolare fu avviato un vastissimo programma di raccolta di fonti orali, che a quell'epoca ebbe ancora la fortuna di poter raccogliere le testimonianze di molti pionieri della fisica moderna, in particolare di alcuni dei "padri" della meccanica quantistica. Non è un caso che, ugualmente negli anni '60, fu varato il grosso progetto editoriale del *Dictionary of Scientific Biography*, attualmente entrato nella sua terza fase con un rilevante intervento di aggiornamento.

Ma in che modo la vita dello scienziato è correlata alla vita della scienza? Quando si parla di scienziati si tende ad associarli a specifiche "scoperte", distaccandoli dal contesto più generale della ricerca e della sua collocazione culturale. La cultura scientifica è modellata da coloro che la praticano

giorno per giorno all'interno di una più vasta rete istituzionale, sociale e storica. Così come è sempre accaduto nelle botteghe dei grandi artisti, l'impresa scientifica si basa sul privilegio di sedere fianco a fianco con i giganti sulle cui spalle quell'impresa viene costruita, generazione dopo generazione. In questo risiede la sua unicità. Il risultato dello sviluppo straordinario della fisica fa sì che individui appartenenti a una o due generazioni precedenti possano essere assai distanti in termini di stato delle conoscenze, ma siano vicinissimi a noi da tutti gli altri punti di vista. Le generazioni sono scandite qui da criteri assai diversi rispetto a quelli che caratterizzano la specie umana: nell'arco della vita scientifica del maestro, molte generazioni di allievi si succedono. Alcuni di loro diventano maestri, dalla cui scuola nuovi giovani saranno iniziati alla difficile arte della ricerca, in un processo complesso e delicato, in cui la rottura di una maglia può generare effetti irreversibili.

Dalla raccolta di testimonianze di questo volume emerge, in modo direi naturale, come nella trama generale dell'avventura della fisica italiana si collochino "le storie" di alcuni protagonisti della vita scientifica che ha ruotato intorno all'Istituto di Fisica romano. Attraverso la "loro versione dei fatti" si definiscono i percorsi individuali, quali tessere di un puzzle complesso e ricco di "sottoinsiemi" che intersecandosi tra loro contribuiscono alla ricostruzione delle imprese comuni. Questo volume è nato nell'ambito di un progetto di ricerca più generale dal titolo "Dalla ricerca sui raggi cosmici alla nascita e lo sviluppo dei laboratori nazionali di Frascati e alle collaborazioni con il CERN" (cofinanziamento Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e MURST, 2003–2005), a cui ho lavorato per due anni insieme a Carlo Bernardini. L'obiettivo generale del progetto è stato la ricostruzione della storia della fisica nucleare e subnucleare in Italia e delle sue applicazioni tra il 1930 e il 1970 in tutti i suoi molteplici aspetti (scientifici, economici, sociali), attraverso la collaborazione tra storici e scienziati, soprattutto al fine di salvare la memoria storica delle persone ancora in vita che hanno partecipato alle attività originarie. In un periodo che è contrassegnato dalla progressiva scomparsa di molte delle fonti primarie tradizionali (le comunicazioni tra scienziati sono state via via sostituite dal telefono e da internet), le testimonianze dirette dei protagonisti sono un patrimonio inestimabile che rischia di perdersi per sempre, sottraendo al futuro lavoro di ricerca storica informazioni cruciali su un capitolo importante della storia culturale ed economica del nostro Paese, da cui emerge anche il ruolo

della fisica italiana in Europa e nel Mondo.

Agli autori, tutti in vario modo legati all'area romana, è stato chiesto di raccontare il percorso personale, generalmente a partire dalla formazione universitaria, mettendo in evidenza il ruolo di personaggi ed elementi che avevano avuto un'influenza particolare nel corso degli studi – docenti, colleghi di studio, corsi universitari, letture personali e manuali di fisica – proseguendo con le prime esperienze all'estero e l'avvio dell'attività di ricerca. A tutti è stato inoltre richiesto di corredare il resoconto con una dettagliata bibliografia. Alcuni hanno scritto direttamente il loro contributo, in altri casi la testimonianza è stata raccolta sotto forma di colloquio, incoraggiando una rielaborazione finalizzata al racconto in prima persona. Di questa opportunità si è avvalso, per esempio, Giorgio Salvini, uno dei personaggi centrali dello sviluppo italiano. La ricca documentazione iconografica, in larga parte inedita o poco nota, costituisce una parte importante del lavoro di preparazione del volume, a cui hanno contribuito in modo essenziale tutti gli autori, fornendo immagini del loro repertorio personale (in questo caso non è indicata la fonte). Una parte delle foto proviene da vari Archivi (Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma 'La Sapienza', Laboratori Nazionali di Frascati, Società Italiana di Fisica e CERN), che desidero ringraziare in modo particolare.

La scelta dei testimoni è caratterizzata da una eterogeneità che scaturisce da una serie di circostanze. Una priorità è stata data a testimoni la cui formazione e vita scientifica è iniziata nel periodo precedente la seconda guerra mondiale (Sebastiano Sciuti, Giulio Cortini, Giorgio Salvini, Alberto Gigli Berzolari, Giovanni Boato). La raccolta è aperta da una serie di ricordi inediti di Mario Ageno, che rappresentano il raccordo con la scuola di Fermi e allo stesso tempo danno il "la" sulla figura di Edoardo Amaldi. Su questa nota sono accordate in modo naturale le testimonianze successive, nelle quali il ruolo di Amaldi, come "il più autorevole dei maestri" e "leader" dell'impresa di ricostruzione della fisica in Italia e in Europa, emerge come un potente filo conduttore del racconto collettivo. Il racconto di Ageno, nell'aprire alcuni spiragli oltre il sipario del mito dorato del gruppo di via Panisperna, fa riflettere come tra i doveri di chi fa ricerca storica ci sia quello di non dimenticare che le diverse testimonianze personali, in particolare le memorie stesse di un singolo evento, possono cambiare con il tempo per molte ragioni, che includono esperienze successive, interazione con gli altri e in particolare le proprie sensazioni riguardo circostanze

o eventi particolari insieme alla mutata prospettiva rispetto alle vicende del passato. Altre circostanze che hanno contribuito all'eterogeneità delle testimonianze riguardano naturalmente la scelta di un ventaglio di varietà nei settori di ricerca; alcune scelte sono quindi cadute su personaggi legati all'apertura di nuovi campi di ricerca nell'Istituto romano. Alcuni testimoni (Salvini, Careri, Bernardini), già presenti nel volume *Fisici italiani del tempo presente* (a cura di L. Bonolis, M. G. Melchionni, Marsilio 2003) che raccoglie 10 colloqui da me realizzati con fisici di area romana nel periodo 1998–2002, tornano in questa raccolta per approfondire temi particolari legati alla loro attività di ricerca. Altri (Gigli, Boato) hanno cominciato nell'Istituto romano e contribuiscono a far comprendere come ricerche iniziate a Roma si siano poi irradiate sul territorio nazionale. Viceversa, alcuni personaggi, di provenienza e formazione diversa, sono confluiti a Roma o ai Laboratori Nazionali di Frascati in periodi successivi (Sciuti, Boato, Salvini, Gianfranco Corazza, Giordano Diambri Palazzi, Mario Grilli, Mario Bertino, Andrea Frova). Alcune di queste esperienze sono state scelte anche per far luce sui legami tra i Laboratori di Frascati e il CERN di Ginevra (Diambri Palazzi, Bertino, Sergio Di Liberto, Corazza). Alcuni, invece, si sono formati a Roma, dove si sono poi inseriti, eventualmente lavorando ai Laboratori di Frascati, aprendo o collaborando all'apertura di nuovi settori di ricerca (Carlo Di Castro, Di Liberto, Franca Magistrelli, Giulia Pancheri, Guido Pizzella, Ettore Salusti, Paolo de Bernardis e Silvia Masi). Il tema dei raggi cosmici, un settore fondamentale a Roma, il cui inizio risale alla fine degli anni '30, torna in varie testimonianze (Sciuti, Cortini, Salvini, Gigli, Grilli). Alcuni casi costituiscono esempi di formazione di una scuola attorno a un nuovo campo di ricerca, come emerge dal racconto di Gianni Boato e Giorgio Careri, e specialmente di Carlo Di Castro, dove subentrano altri aspetti interessanti come quello della saldatura e collaborazione tra membri della stessa comunità romana e l'interazione con la comunità internazionale, un tema ricorrente in modo del tutto naturale in tutte le vicende narrate. L'internazionalismo che da sempre ha caratterizzato la fisica emerge continuamente sia nel percorso di formazione, sia a livello delle collaborazioni con membri appartenenti ad altre comunità scientifiche. Sotto questo riguardo è significativo anche il collegamento tra la vicenda di Andrea Frova e il colloquio con Gianfranco Chiarotti pubblicato nella precedente raccolta.

È noto come Edoardo Amaldi si sia costantemente impegnato nel favorire

iniziative orientate all'apertura di nuovi campi di ricerca in un ambiente tradizionalmente molto forte nel settore della fisica nucleare prima e delle particelle elementari successivamente. I gruppi più piccoli, tuttavia, non sempre riescono nell'impresa di crearsi una solida base, per vari motivi, non ultimo quello dell'indispensabile appoggio dei gruppi maggiormente consolidati. Nonostante il successo nella formazione di nuove leve, la difficoltà che nasce dalle limitate risorse nel reclutamento locale dei giovani finisce per penalizzare ulteriormente i gruppi minoritari, votati spesso a un destino precario, quando non sono addirittura obbligati a chiudere i battenti al momento in cui esce di scena il personaggio che ha aperto la via. Un esempio fra tanti, su cui riflettere, è rappresentato dalla vicenda di Ettore Salusti con l'Oceanografia.

Due casi sono particolarmente emblematici rispetto alla filosofia di fondo del volume, rappresentata dalla catena maestri-allievi. Il primo è quello di Franca Magistrelli, la cui vicenda viene scandita dalla sequenza dei tre "maestri" con i quali ha via via collaborato, stabilendo un rapporto umano e scientifico privilegiato. Il secondo è quello di Silvia Masi e Paolo de Bernardis. La scelta di inserire la loro testimonianza rappresenta a tutti gli effetti la naturale evoluzione del mio colloquio con Francesco Melchiorri, avvenuto nell'estate 2000 e successivamente pubblicato nel volume *Fisici italiani del tempo presente*. Dalla nascita della cosmologia sperimentale ad opera di Melchiorri, si assiste qui alla formazione di una scuola sotto la sua guida illuminata e capace, anche nella scelta dei collaboratori. Colgo l'occasione per ricordare come Melchiorri abbia sottolineato che l'orientamento decisivo gli sia venuto da Bruno Rossi, che gli suggerì di applicare le tecniche di rivelazione da lui appena elaborate a un argomento totalmente nuovo come la radiazione di fondo cosmico, scoperta nel 1965 da Arno Penzias e Robert Wilson e di cui a quell'epoca nessuno sapeva nulla in Italia. Cito questo episodio significativo, come simbolo del legame con il passato pionieristico degli anni '30, che direttamente o indirettamente emerge qua e là da tutti i racconti. I padri della fisica moderna italiana, come Enrico Fermi e Bruno Rossi, hanno contribuito in ogni modo dall'altra parte dell'Atlantico a promuovere la formazione delle giovani leve che l'Italia, pur decapitata dalle leggi razziali e impoverita dalla guerra, ha prodotto con crescente successo, grazie all'opera incessante di altissimo livello portata avanti dagli allievi di quella prima generazione di pionieri – Amaldi, Gilberto Bernardini, Giuseppe Occhialini, Marcello Conversi, Ettore Pancini –

affiancati a loro volta dagli antichi maestri come Enrico Persico e Giovanni Polvani, il cui nome ricorre spesso nelle pagine del volume.

Alla selezione finale ha anche contribuito in modo decisivo la determinazione di realizzare concretamente l'impresa di scrivere i propri ricordi o di rielaborare con attenzione il risultato del colloquio, corredando il tutto con la bibliografia. In qualche caso non si è riusciti ad arrivare allo stadio definitivo, una eventualità del tutto prevedibile, considerando che l'impegno richiesto è decisamente considerevole. Resta anche il rammarico di non essere riuscita a trovare una documentazione adeguata sull'attività di personaggi di primissimo piano ormai scomparsi da qualche anno: Gilberto Bernardini in primo luogo, di cui il materiale documentale più antico pare sia andato perduto nell'incendio di un locale in cui era stato depositato. Inoltre, alcuni dei contatti avuti con grandi protagonisti non sono andati a buon fine per una naturale e comprensibile ritrosia degli interlocutori; il loro ruolo è comunque presente nelle testimonianze di loro colleghi ed estimatori nonché degli allievi.

Da questa storia collettiva si è anche cercato di far emergere uno degli elementi portanti della fisica italiana del Novecento, che aveva già avuto un prologo illuminante nello spirito di iniziativa di Pietro Blaserna e di Orso Mario Corbino, cui Edoardo Amaldi ha giustamente e con gratitudine dedicato bellissime pagine evocative. Tra i fisici italiani, oltre che grandi scienziati, ci sono stati degli straordinari "organizzatori di ricerca", eccezionali figure di grandissima rilevanza sociale, come Edoardo Amaldi, Gilberto Bernardini, Marcello Conversi, accompagnati da un manager come Felice Ippolito, grande geologo e responsabile di strutture di avanguardia come il CNRN e il CNEN. Questi leader, che combinavano con grande generosità le qualità umane con le notevoli qualità intellettuali, avevano un concetto altissimo della responsabilità che derivava dalla loro posizione di preminenza. In questo senso la storia diviene un filo conduttore prezioso nel suggerire sommessamente di prestare attenzione alle capacità professionali dal punto di vista della comunità scientifica nel suo insieme e mai nell'interesse dei singoli.

I miei ringraziamenti vanno in primo luogo a Carlo Bernardini, che mi ha costantemente affiancato nel corso del lavoro di preparazione e di elaborazione del volume, durante il quale ho avuto la possibilità di arricchire considerevolmente le mie conoscenze sulle vicende e sui personaggi della fisica italiana del Novecento attraverso lo speciale dialogo che si stabilisce nel

corso del processo di raccolta delle testimonianze. La mia filosofia personale nei confronti della fisica e della sua storia ne è uscita con un nuovo assetto e l'intera impostazione del mio lavoro nel campo della ricerca storica ne è stata profondamente modificata. Sono anche assai grata a Giuseppe Giuliani, per aver accolto con favore la pubblicazione del volume nella collana *Percorsi della Fisica*, dove trova una sua naturale collocazione. *Last but not least*, ringrazio in modo particolare tutti coloro che hanno voluto compiere lo sforzo di contribuire a questa raccolta, partecipando alla comune riflessione sui meccanismi alla base del processo di elaborazione di nuove conoscenze e sulla complessità dell'impresa scientifica, che fanno capo a uno dei centri di eccellenza della fisica mondiale.

Luisa Bonolis

Roma, giugno 2008.

Capitolo 1

Mario Ageno

Mario Ageno, nato a Livorno il 2 marzo 1915 da famiglia genovese, dopo aver frequentato a Genova il primo biennio della facoltà di fisica, si trasferì a Roma nel 1934, quando il gruppo di via Panisperna aveva appena concluso i primi esperimenti sul rallentamento dei neutroni. Dopo la laurea con Enrico Fermi nel 1936, ebbe un posto di assistente incaricato prima e di ruolo poi dal febbraio 1938 presso la stessa Università.

Lavorò con Edoardo Amaldi a ricerche di fisica nucleare fino all'inizio della II guerra mondiale, quando fu inviato in Africa. Al suo ritorno dalla guerra per gravi motivi di salute, riprese la sua attività entrando nel 1949 all'Istituto Superiore di Sanità come assistente e rinunciando al posto di professore straordinario di Fisica Superiore che aveva vinto all'Università di Cagliari.

A partire dal 1958 divenne direttore dei Laboratori di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità dedicando una gran parte delle sue energie alla loro riorganizzazione e alla creazione di una struttura moderna impegnata in diverse attività di ricerca, sia nel campo della scienza fondamentale sia nel campo dello sviluppo tecnologico. Parallelamente alla gestione dei Laboratori, Ageno continuò a dedicarsi alle sue ricerche, diventando il fondatore della biofisica in Italia, verso il 1960.

Coltivò lo studio dei fondamenti della fisica e l'interesse per l'epistemologia ed ebbe un ruolo fondamentale come maestro di intere generazioni di studenti di medicina facendo confluire la sua vasta e ricca esperienza didattica in numerosi trattati, oltre che in numerose pubblicazioni divulgative.

Nel 1969 lasciò l'Istituto Superiore tornando all'Università e dedicandosi a pieno tempo alla biofisica, della cui cattedra, la prima in Italia, restò titolare a Roma fino al 1985. In seguito continuò la sua attività dedicandosi con passione alla divulgazione, in particolare al tema dell'origine della vita.

La sua produzione bibliografica comprende complessivamente circa 300 titoli.¹ Mario Ageno è morto a Roma il 23 dicembre 1992.



Figura 1.1: Mario Ageno al fronte in Africa settentrionale nel 1940 (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

1.1 Con Edoardo Amaldi a via Panisperna

Quando, il 30 giugno del 1936, subito dopo aver superato l’esame di laurea, sono uscito dal portone di questo edificio, diretto al treno per tornare a casa, non avevo certo idea che sarebbe passato più di mezzo secolo, con precisione 54 anni e 5 mesi, prima che mi accadesse di ritornare. Infatti,

¹Per l’elenco delle pubblicazioni di Mario Ageno si rimanda al fondo conservato presso l’Archivio del Dipartimento di Fisica dell’Università di Roma “La Sapienza”. Sono particolarmente grata a Gianni Battimelli per avermi segnalato l’esistenza di queste testimonianze, qui pubblicate per la prima volta (Archivio Ageno, scatola 6, inventario 1.2.10).

1. Mario Ageno

quando nel settembre seguente mi raggiunse a Genova una cartolina postale di Edoardo Amaldi, che mi invitava a ritornare a Roma per occupare un posto di assistente incaricato, l'Istituto di Fisica si era ormai trasferito nella nuova sede della Città Universitaria.

Edoardo Amaldi faceva parte del gruppo di via Panisperna dall'autunno del 1927, quando, rispondendo a un invito rivolto dal prof. Corbino agli studenti del suo corso di Fisica Sperimentale, era passato da Ingegneria a Fisica, divenendo allievo prima e poi collaboratore di Enrico Fermi.



Figura 1.2: Edoardo Amaldi nel 1933 (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

Io avevo incontrato Edoardo per la prima volta nel novembre del 1934, quando lui ed Emilio Segrè avevano convocato gli studenti del 3° anno di Fisica per le Esercitazioni di Laboratorio del 2° biennio. “Gli studenti” erano due: Alfonso Barone di Roma ed io, piovuto dalla provincia dopo un primo biennio frequentato all’Università di Genova. Ricordo che fummo introdotti in una stanza semivuota, piuttosto oscura, a pianoterra, a destra dell’ingresso e, dopo una breve attesa, fummo raggiunti da due giovani di poco maggiori di noi, in camice bianco, che ci squadravano con aria molto critica e decisamente seccata.

Ed ebbe subito inizio, tra i due professori, il gioco delle parti. Emilio Segrè, il burbero (non per niente soprannominato il Basilisco), diede inizio alle operazioni con un discorso che, ricordo, ci lasciò esterrefatti e gelati: “Noi – disse – qui, allevamenti di cavoli non ne facciamo. Se siete gente in gamba, bene, potete restare. Se no, è meglio che ve ne andiate immediatamente”.

Solo molto dopo ho capito che quello non era, in realtà, un tentativo di gettarci comunque nello sconforto e disfarsi di noi, ma una dichiarazione molto onesta, nello stile di Emilio Segrè, della situazione in cui ci trovavamo.²

Pochi mesi prima, nel marzo del '34, Enrico Fermi aveva scoperto la radioattività indotta da bombardamento con neutroni e proprio in quei giorni, a fine ottobre del '34, con il contributo prevalente di Edoardo Amaldi, era stata fatta la seconda scoperta fondamentale del gruppo di Roma: il rallentamento dei neutroni nelle sostanze idrogenate. Era incominciata l'epoca d'oro della fisica italiana. Il gruppo di ricercatori attorno a Enrico Fermi era costituito da Franco Rasetti, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi e, appena arrivato da Pisa, Bruno Pontecorvo. Era un gruppo ormai completo e autosufficiente. Noi studenti arrivavamo tardi: non potevamo che costituire un peso e rischiavamo di sottrarre tempo ed energie alla ricerca.

Comunque, riuscimmo a sopravvivere. E, in quella stanza semioscura a pianoterra a destra dell'ingresso, Giorgio Fea, che già laureato in Matematica Fisica voleva rilaurearsi in Fisica pura, Alfonso Barone ed io facemmo le nostre Esercitazioni di 2° biennio, molto abbandonati a noi stessi, ma

²Quanto alla sua determinazione e alla scelta della fisica, così Ageno si è espresso in una intervista rilasciata a A. Zanazzo per la trasmissione, “Lo Specchio del cielo”, andata in onda il 15 novembre 1992 su Rai Radiodue, poco più di un mese prima della sua scomparsa: “Su questo io non ho mai avuto dei dubbi e anche nei periodi più duri, diciamo più difficili, come studente, in realtà non ho mai pensato di cambiare strada. La questione è che io avevo delle idee naturalmente molto vaghe e molto approssimative, come tutti i ragazzi, ma quando ero al liceo, come succede a quella età, io mi ero estremamente interessato ai problemi della filosofia. Io ho fatto il liceo classico, e immaginavo di poter dare un giorno delle risposte personali a questi problemi però, d'altra parte, riuscivo bene in matematica e nelle discipline scientifiche e di fronte alle risposte contraddittorie e diverse che i filosofi hanno dato ai grandi problemi che uno si è posto dall'inizio, da quando ha cominciato a pensare, di fronte a queste domande e a queste risposte, mi ero convinto che fosse necessario cominciare dal principio e quindi mi ero fatto l'idea che bisognasse prima studiare fisica e poi, con le conoscenze, con i fondamenti di conoscenza così assicurati, avrei forse potuto affrontare i problemi più generali. E quindi diciamo che la scelta della fisica per me è stata una scelta irrevocabile!”.

anche molto impegnati e felici per l'autonomia pressoché completa di cui godevamo: solo Edoardo, che faceva con noi studenti la parte del buono, ci veniva ogni tanto a trovare e a dare suggerimenti e consigli. Ricordo che, tra l'altro, su suo suggerimento misurammo il punto di Curie del nichel e, con nostra grande sorpresa ed entusiasmo, ne scoprimmo l'isteresi. Scoperta subito dopo seguita dall'altra, non trascurabile, che molti anni prima, anche l'isteresi del punto di Curie l'aveva già scoperta Pierre Curie.

Intanto, io seguivo, unico studente, anche un corso di Problemi di Fisica, tenuto in aula dal Basilisco che aveva appena conseguita la libera docenza: e ne scoprivo l'umanità e la grande disponibilità ad insegnare, quando gli sembrava che ne valesse la pena.

Un po' per volta, dopo i primi mesi sicuramente difficili, mi vedevo così sostanzialmente accettato anche dal gruppo del piano di sopra, là dove stava nascendo la fisica del nucleo atomico. E, per la mia tesi di laurea, fu pacifico che l'avrei fatta con loro.

Nell'autunno del 1935, partito ormai Segrè per Palermo, all'estero Pontecorvo e Rasetti, erano rimasti Fermi ed Amaldi a sviluppare la fisica dei neutroni lenti. È in questo periodo che pubblicarono sull'argomento, loro due soli, tutta una serie di splendidi lavori, che sono, oltretutto, dei mirabili modelli di metodo.

Quando io ho incominciato a “regger loro la coda” (come si era soliti dire), cioè da studente ad aiutarli, nei limiti delle mie possibilità, nella esecuzione delle misure, avevano appena scoperto i cosiddetti gruppi di neutroni lenti. Le 3 misure si facevano tra un estremo e l'altro del corridoio longitudinale del primo piano. All'estremo Nord si irraggiava per un tempo fisso coi neutroni di una sorgentina di polvere di berillio mescolata con radon. Poi, afferrata la lastrina irraggiata, si correva con tutte le forze delle proprie gambe all'estremo Sud, dove, al riparo dai raggi gamma emessi dal radon, si misurava l'attività indotta con una camera di ionizzazione a pressione collegata con un elettrometro. Di regola, Fermi stava all'elettrometro, mentre Amaldi ed io ci alternavamo nelle corse.

Così, tra una corsa e l'altra, ebbe inizio l'amicizia tra Edoardo e me. Fu, anche, quella, se ben ricordo, l'epoca in cui incontrai per la prima volta un personaggio che aveva allora poco più di un anno e che, più tardi, avrebbe molto contribuito alle mie relazioni di amicizia con la famiglia Amaldi: il primogenito di Edoardo, Ugo Amaldi.

Intanto, si avvicinava la data del mio esame di laurea. Ma ogni volta

che timidamente cercavo di portare il discorso sulla mia tesi, tagliavano corto, dicendomi di non preoccuparmi, perchè tanto loro non davano nessuna importanza alla tesi. Non pensavano che, forse, la tesi poteva avere una qualche importanza per me. Alla fine, disperato, non avendo alcuna idea di come dovesse essere fatta una tesi di laurea e senza nessuno che me lo spiegasse, misi su carta in pochi giorni tutto ciò che mi fu possibile trovare nella letteratura sui neutroni e tutto ciò che mi riuscì di venire a sapere. Per fortuna, nessuno diede neppure un'occhiata alla mia tesi, neppure Fermi, che ne fu formalmente il relatore. E, dopo la laurea, ottenuta senza alcuna soddisfazione per una lode regalata, mi affrettai a distruggere il manoscritto e tutte le copie rimaste alla mia portata di quell'orribile pasticcio, affinché non potesse avvenire che per caso capitasse sotto gli occhi di qualcuno.

Nel nuovo Istituto, si può dire che tutto cambiò. I capi decisero che non era più possibile continuare a fare la fisica dei neutroni, con le sorgentine di berillio più radon: non erano competitive con le molto più intense sorgenti di neutroni che si ottenevano con i primi acceleratori di particelle, quali incominciavano a sorgere in Inghilterra e in America. Edoardo fu delegato a fare un breve viaggio in America, per impraticarsi nella progettazione e nell'impiego delle nuove macchine, e poi insieme a lui Fermi e Rasetti fabbricarono in Istituto un primo modello di Cockcroft e Walton da 200.000 Volt con tubo acceleratore per protoni e deutoni. La macchina finale, da 1.100.000 Volt, progettata da Edoardo, fu subito dopo realizzata dai tre, presso i Laboratori di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità ed entrò in funzione tra la fine del '38 e l'inizio del '39.

Nel nuovo Istituto, io ero rimasto dapprima molto isolato. Avevo un po' annaspato, cercando di fare da solo qualche ricerca, con risultati molto modesti. Poi, con Bruno Ferretti facemmo un primo tentativo di esperimento sui raggi cosmici in alta montagna, a Campo imperatore sul Gran Sasso: troppo soli e in condizioni di troppo "eroica povertà" per ottenere risultati significativi. Fummo riassorbiti, alla fine, dal gruppo molto più numeroso, organizzato e dotato di mezzi, capeggiato da Gilberto Bernardini, che negli inverni 1940-41 e 1942-43 avrebbe fatto due spedizioni al passo del Teodulo sopra Cervinia, località dove in seguito sarebbe sorto il Laboratorio della Testa Grigia.

Nel frattempo, io ero stato invitato a partecipare con Amaldi al lavoro di ricerca in fisica nucleare, che si stava avviando con la nuova macchina

della Sanità.

Ma la situazione politica ormai precipitava. Ricordo l'atmosfera di quel giorno, il 6 dicembre del 1938, in cui Fermi partì con la famiglia per andare a ritirare il premio Nobel: c'ero anch'io, con Amaldi, Rasetti e Trabacchi, a salutare Fermi dal marciapiede della stazione Termini. E, senza che nessuno me ne avesse mai accennato, avevo capito da solo che non sarebbe tornato.

Che cosa avvenne dopo, come Edoardo sia rimasto solo con la pesante eredità del gruppo di Roma e come a soli 31 anni di età abbia saputo farsi carico della situazione, rimettendo in moto la ricerca, fondando una scuola e diventando in breve il vero motore della rinnovata fisica italiana, l'ho già ricordato in altra occasione e non intendo ripetermi.

Desidero solo terminare questa mia testimonianza dell'epoca di via Panisperna, col racconto di un ultimo episodio personale. Quell'epoca si esaurì completamente solo con lo scoppio della guerra e, com'è ben noto, nella guerra chi più chi meno fummo tutti coinvolti. Anche Edoardo fu mobilitato e spedito per un certo periodo in Africa Settentrionale, tenente nel 42° Artiglieria da campagna della divisione Sabrata. Anch'io ero, a quell'epoca, in Africa Settentrionale, sottotenente del 5° Raggruppamento Artiglieria d'Armata. Nulla sapevamo l'uno dell'altro ed eravamo dislocati in località differenti e assai lontane. Ma un giorno, per caso proprio nello stesso giorno, avemmo dai rispettivi Comandi un permesso, per recarci a Tripoli. E, a Tripoli, c'incontrammo per caso sulla porta di un negozio di materiale fotografico, e potemmo parlare per un'ora circa, prima di dover ritornare ai nostri autocarri e ripartire per i rispettivi reparti. Fu un episodio che nessuno dei due potè dimenticare.

(Roma, 5 dicembre 1990)

1.2 Il “nuovo” Istituto di Fisica

Il mio primo contatto con quello che allora veniva chiamato il nuovo istituto risale ai primi mesi del 1936, quando l'edificio era ancora in costruzione. Ero allora studente del quarto anno del corso di laurea in fisica a via Panisperna, e frequentavo, tra gli altri, il secondo anno del corso biennale di Fisica superiore, tenuto dal prof. Antonino Lo Surdo. Lo Surdo era stato l'unico dei docenti di fisica a collaborare con gli architetti, affinché il progetto del nuovo edificio rispondesse alle esigenze della ricerca e dell'insegnamento. Nessun altro aveva voluto perdere tempo in simili quisquillie.

Probabilmente, Lo Surdo non era un genio della fisica e neppure una grande personalità. Era però anche l'unico a via Panisperna ad occuparsi di quelle altre quisquiglie che erano gli studenti. Ho visto, frequentando assiduamente il suo corso, una splendida lunga serie di dimostrazioni sperimentali, tutte delicate e difficili, tutte significative, che hanno reso concreta la mia idea della fisica. Gli sono grato, a tanti anni di distanza, per avermi fatto capire che la fisica non è una disciplina libresca, artificiale, fatta esclusivamente di pagine di trattati e di programmi per calcolatore.³

Lo Surdo, dunque, un giorno dei primi mesi del 1936, convocò gli studenti del suo corso e li portò a visitare il nuovo edificio in costruzione. Non ricordo molto, a dire il vero, di quella prima visita: il fango del terreno circostante, la confusione delle impalcature, scale senza gradini e passaggi provvisori attraverso tramezzi in costruzione. Non credo di essermi fatto allora un'idea delle linee generali dell'edificio, ma solo un'impressione di sproporzione, rispetto alle stanzette familiari del villino di Via Panisperna.

Un'idea più adeguata me la son fatta solo nel settembre di quello stesso anno, quando, dopo la laurea, fui richiamato da Genova a Roma per occupare un posto di assistente incaricato. L'Istituto di Fisica, frattanto, si era trasferito da via Panisperna al nuovo edificio.

Ricordo che noi della plebe, Fea, Medi, Barone, io e qualche altro, ci sentiamo quasi sperduti in quegli, spazi che ci sembravano immensi: tante ampie stanze, tutte a disposizione, atri come piazze, corridoi come autostrade.

I piani venivano allora chiamati dal colore delle mattonelle del pilastro centrale dell'atrio: piano azzurro, l'ingresso, e poi salendo: piano verde, piano rosa e piano giallo. Quando, nel tardo pomeriggio, la plebe rimaneva

³Nell'intervista per la radio, così Ageno ha ricordato i suoi maestri Lo Surdo e Fermi: "Il professore di Fisica superiore a Via Panisperna era Antonino Lo Surdo il quale non era considerato – e il quale probabilmente non era – un fisico molto notevole, però era l'unico in pratica che si occupasse sul serio degli studenti. Il suo corso di Fisica superiore era una dimostrazione continua di esperimenti spettacolosi! Bellissimi! Fatti in cui riusciva a mettere in evidenza dei fenomeni anche molto riposti e lì io ho capito che la fisica non è una disciplina che si impara sui libri, è una scienza della natura! Questo per me è stato un elemento fondamentale della mia formazione. Naturalmente c'era anche l'altro aspetto. Io ho seguito le lezioni di Fermi, ho imparato da Fermi una quantità di cose, sia dalle lezioni accademiche sia soprattutto osservando come Fermi si comportava in laboratorio, come risolveva i problemi, come portava avanti giorno per giorno la ricerca in atto e come rispondeva alle domande dei suoi collaboratori riformulandole sempre in maniera chiarificatrice; ho imparato moltissime cose in questo modo".



Figura 1.3: La biblioteca del Regio Istituto Fisico di via Panisperna (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

padrona della piazza, ne succedevano di tutti i colori: tra cui le gare in bicicletta lungo l’anello dei corridoi del piano verde.

A quei tempi, l’aristocrazia, soprattutto Franco Rasetti, tuonava contro gli architetti razionalisti, per i grandi spazi sprecati, per le vetrate opaline alle finestre, che non si potevano che socchiudere a scivolo e non consentivano mai di vedere all’esterno (si rischiava veramente di ammalarsi di claustrofobia) e cose simili.

Poi, io ho lasciato temporaneamente l’Istituto, per tre mesi di servizio militare di prima nomina, che si prolungarono in più di cinque anni di guerra, coi suoi strascichi.

Al mio ritorno, quei negri, patetici alberelli che si alternavano a larghi spazi vuoti lungo tutto il fronte dell’Istituto, erano sorprendentemente cresciuti e tendevano a formare, ormai, un viale alberato. L’Istituto non era più così immenso: s’era sorprendentemente ridotto a misura d’uomo.

La plebe di un tempo era diventata un gruppo numeroso e compatto di giovani assistenti e laureandi. Le stanze, già vuote, avevano preso vita. Gli



Figura 1.4: Facciata dell'Istituto di Fisica nella nuova città universitaria progettato da G. Pagano nel 1935.

ambienti, già sprecati per impianti ormai superati dai tempi (come le grandi batterie di accumulatori), venivano recuperati e utilizzati per le nuove esigenze. Si lavorava come matti, perché ci si divertiva. C'erano, naturalmente, anche urti e rivalità, simpatie e antipatie, scontri, e avvilimenti, ma c'era tra tutti una sostanziale solidarietà. E una gran voglia di ridere.

È stato quello il tempo degli scherzi celebri, delle beffe che non si dimenticano, beffe che non risparmiavano nessuno. Come quel professore, che aveva l'abitudine piuttosto irritante di far scrivere dagli stessi interessati le sue lettere di presentazione per borse, concorsi e simili, e di, firmarle poi senza leggerle. Quel professore, un bel giorno, trovò esposta nell'albo del piano rosa una sua dichiarazione regolarmente firmata in cui, dopo aver certificato che il dr. Giuseppe Fidecaro era assistente incaricato nell'Istituto di Fisica, prendeva solenne personale impegno di far lezione in mutande. In un ambiente in cui molti lavorano e si danno da fare, si sente presto la necessità di stabilire delle regole. Molte cose si normalizzavano semplice-

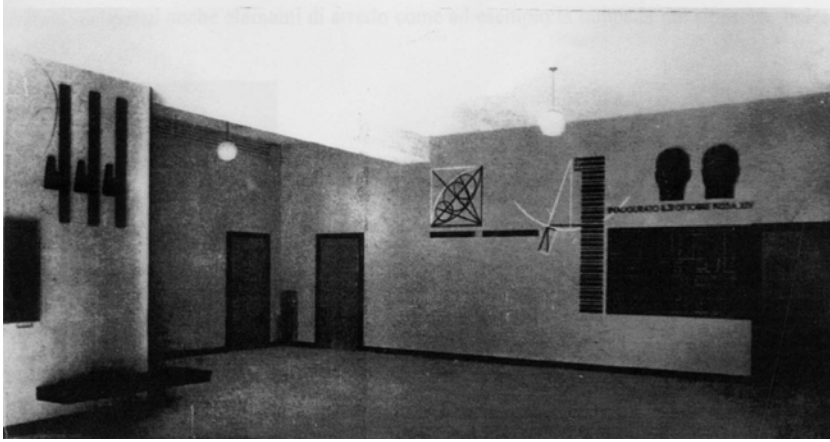


Figura 1.5: Foto dell'atrio originale dell'Istituto di Fisica. Si intravedono alcuni simboli del regime successivamente smantellati.

mente per la stessa presenza e col consiglio dei più anziani. Era soprattutto la personalità del Nostromo, l'indimenticabile Ettore Pancini, a guidare la banda un po' tumultuosa dei più giovani. Per i beni comuni, libri e riviste della biblioteca, apparecchi di uso generale e simili, si era per esempio stabilito, tutti d'accordo, che ciascuno potesse prelevare ciò di cui sul momento aveva bisogno, anche dal posto di lavoro di un altro, a condizione di mettere un biglietto: "Preso la tal cosa" e la firma.

Oggi, può sembrare incredibile, ma semplici regole di questo tipo, autolimpie, allora funzionavano. Eravamo tutti molto poveri, alcuni perfino con le scarpe rotte, gli stipendi ci bastavano appena per non fare la fame. Ma c'era, in tutti, lo spirito della ricostruzione.

Non che, naturalmente, le regole non venissero qualche volta violate o, più spesso, intese con una certa disinvolta larghezza. Come quando Ettore trovò, in un cassetto della sua scrivania, ai posto della sua borsa del tabacco, un biglietto: "Preso tabacco. Lucio". Allora, Ettore decise di vendicarsi, e Lucio trovò, al posto della sua scrivania, una seggiola con sopra un biglietto: "Preso scrivania. Ettore". Se ben ricordo, Lucio Mezzetti impiegò un paio di giorni, per trovare dove era andata a finire la sua scrivania.

L' Istituto era dunque a misura d'uomo: lo spazio era quello necessario e sufficiente per viverci e per lavorare. (Anche per nascondere la scrivania dell'amico). Era vivo, per gente che ci lavorava, a tutte le ore del giorno e



Figura 1.6: L' Istituto di Fisica visto dal Piazzale della Minerva.

della notte: era, veramente, la nostra casa.

Contribuivano a renderlo confortevole i nei corridoi, con le stanze su un solo lato e sull'altro lato ampie finestre apportatrici di luce. Una caratteristica che continua a distinguerlo dalla maggior parte degli edifici universitari più recenti, in cui i corridoi, con stanze sui due lati, sono ridotti a oscuri budelli, veramente orribili, in un edificio universitario, i corridoi non sono soltanto passaggi o spazi morti: sono *spazi comuni*, che debbono rendere possibili le interazioni tra i gruppi.

Tra le cose che facilitavano la vita, c'erano anche le piccole officine, cinque se ben ricordo, in cui professori, assistenti e studenti trovavano macchine ed attrezzi per risolvere i piccoli problemi quotidiani con le loro stesse mani, senza burocrazia e senza code.

L'unica cosa, invece, che a me sembrava già allora insufficiente, era lo spazio per la biblioteca, progettata fin dall'inizio in modo inadeguato e imprevedente.

Poi, nel '50, ho lasciato nuovamente l'Istituto, per L'Istituto Superiore di Sanità, e non sono tornato stabilmente che nel 1971.

Gli alberi lungo il fronte dell'Istituto era intanto diventati conifere e querce alte e forti e formavano ora una cortina di verde ininterrotta verso il viale centrale. L'istituto si era fatto singolarmente piccolo: quello che io conoscevo non esisteva anzi più. L'istituto era ormai diventato uno

spazio lottizzato tra un gran numero di gruppi, grandi alcuni e altri piccoli, come un condominio affittato a tante ditte commerciali diverse, con una amministrazione centralizzata, senza spazi comuni. Il mio lotto risultò un laboratorio di due stanze, in cantina.

Un istituto a misura d'uomo per il lavoro di ricerca di cinque o sei gruppi non può non cambiare completamente i suoi caratteri, quando i gruppi incominciano a contarsi a decine e i ricercatori a centinaia. È pressochè inevitabile che, in tali condizioni, si ritenga indispensabile *organizzare* l'Istituto: che si eliminino i doppioni, che si centralizzino i servizi, che non solo si ricorra all'industria per tutte le apparecchiature standardizzate, ma che anche per le realizzazioni tecniche sperimentali ci si rivolga il più possibile a ditte esterne. Ciò però significa che nessuno può più risolvere da solo i suoi problemi quotidiani. Per ogni difficoltà che insorga, piccola o grossa, si deve ormai fare un progettino preciso e ci si deve mettere in lista di attesa presso il competente servizio, o si deve trattare per telefono con la ditta esterna specializzata del caso. E poi, si deve aspettare.

L'idea stessa di un Enrico Fermi che, nell'officinetta dei professori (l'attuale locale della Segretaria didattica del piano rosa), si fabbrica da solo al tornio il pezzetto con cui spera di rimettere in funzione il suo apparato sperimentale che sta facendo i capricci, era considerata oramai un assurdo mostruoso.

Il mestiere stesso del fisico non era più quello di prima. E ciò, non tanto perché la fisica fosse cambiata, quanto perché la ristrettezza e soprattutto la inadeguatezza degli spazi e dei mezzi costringevano il ricercatore a continui compromessi e a sprecare gran parte del suo tempo e della sua energia nel risolvere problemi fittizi di natura burocratica e amministrativa e nel superare inerzie e resistenze di collaboratori esterni, non interessati ai *veri* problemi della sua ricerca.

I più giovani, cresciuti in tale ambiente, non sapevano neppure che ci fosse un altro modo di lavorare. Mentre un fisico di vecchia maniera trovava ormai molto difficile adattarsi e trasformarsi in questo nuovo tipo di fisico sperimentale, costretto a lavorare essenzialmente a tavolino e al telefono, quando non faceva misure. Il vecchio fisico aveva l'impressione di essere ormai l'ultimo soldato superstite in un esercito di generali, nessuno dei quali veniva come lui dalla gavetta. Aveva l'impressione che ormai anche i modelli che i fisici teorici proponevano fossero esclusivamente quelli sviluppati al calcolatore. E che tutto avesse ormai poco a che fare con

la concreta frontalità della natura, con il problema di capire come è fatto e come funziona questo mondo. E di poter contare, per il suo lavoro, esclusivamente su se stesso.

L'Istituto era diventato ormai un posto estraneo, dove si veniva solo per lavorare e per studiare: dove non era possibile sentirsi a casa propria. Non si passava più, qui, il tempo della propria vita, ma solo il quotidiano orario di lavoro. E per scale e passaggi, s'incontravano spesso facce sconosciute, come in via del Tritone.

Questo è tutto ciò che io posso dire dei miei ricordi su questo ormai vecchio edificio. Ma ciò che bisogna ora fare, non è guardare al passato, dato che il passato non può mai ritornare.

(Roma, ottobre 1990)

1.3 Il nostro debito verso Edoardo Amaldi

Nel 1925, Enrico Fermi, allora ventiquatrenne professore di Fisica matematica a Firenze, passò le vacanze estive in Val Gardena, ove si erano riuniti per la villeggiatura alcuni matematici dell'Università di Roma. Tra essi, Levi-Civita, Castelnuovo, Bompiani e Ugo Amaldi. Racconta Segrè come si unisse a loro anche il fisico olandese Kronig, dell'età di Fermi, e come i due giovani della compagnia facessero lunghe gite assieme parlando di fisica, accompagnati dal figlio diciassettenne di Ugo Amaldi, Edoardo, che aveva appena finito il liceo e che ascoltava affascinato i discorsi degli altri due. Partito Kronig, Fermi ed Edoardo intrapresero insieme un lungo giro in bicicletta per le Dolomiti.

Fu questo il primo incontro di Edoardo con Fermi e l'inizio di una lunga vicenda, da cui emerse alla fine una consistente e vitale scuola di fisica italiana. Non starò qui a ripetere una storia che è oramai a tutti ben nota: come nel 1926 Fermi sia divenuto titolare della nuova cattedra di Fisica teorica dell'Università di Roma e come, subito dopo, abbia formato attorno a sé il ben noto gruppo di collaboratori, costituito da Franco Rasetti, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Ettore Majorana e più tardi, nel 1934, Bruno Pontecorvo. Si apre così il periodo d'oro della fisica italiana, punteggiato dapprima dai lavori fondamentali di Fermi, la statistica nel 1926, la teoria dei raggi beta nel 1933 e poi, nel 1934 la scoperta della radioattività artificiale per bombardamento con neutroni e la scoperta dei neutroni lenti, allo



Figura 1.7: Edoardo Amaldi (a destra) e Enrico Fermi (a sinistra) in Val Gardena, agosto 1926 (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

studio della cui fisica dedicarono tutta una serie di lavori classici Fermi ed Amaldi, nel 1936.

Data per ormai nota tutta questa storia, mi propongo di metterne in rilievo alcuni aspetti, e significati, che sono andati un po' perduti nei racconti di regola prevalentemente agiografici che se ne sogliono fare. Segrè, mette bene in evidenza, nei suoi scritti di Storia della scienza, come, dopo la dispersione della scuola di Galilei, a differenza di ciò che è avvenuto nei Paesi del Nord dell'Europa, sia sempre mancato alla fisica italiana il supporto di una tradizione, rappresentata da una grande scuola scientifica, capace di portare avanti una visione scientifica del mondo, anche col contributo di scienziati di medio livello. Così, lo stato normale della fisica in Italia era stato sempre quello del coma profondo, interrotto appena, ogni tanto, da un piccolo contributo occasionale di qualche onesto professore universitario. Lo stesso Alessandro Volta, rappresentò, dopo Galilei, un vivissimo lampo isolato. E non fece allievi.

Si sente spesso ripetere che Enrico Fermi creò in Italia una scuola. In realtà, Fermi era un autodidatta e come tale era portato a pensare che chiunque avrebbe potuto fare altrettanto. La creazione di una scuola non era tra i suoi obiettivi e non si accordava col suo temperamento. Ciò che si proponeva era essenzialmente di realizzare condizioni tali, che gli permet-



Figura 1.8: Edoardo Amaldi nel 1935 (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

tessero di portare avanti la ricerca e ne favorissero il successo.

Così, ad esempio, non si preoccupò affatto di fare allievi a Firenze, che considerava sua sede solo provvisoria: il gruppo di Firenze si formerà dopo, attorno a Enrico Persico e a Bruno Rossi.

A Roma, con lezioni private e seminari, con un incessante lavoro di orientamento concettuale, riuscì in pochissimo tempo a trasformare un gruppetto di giovani, selezionati per intelligenza ed impegno, in ricercatori di primissimo piano, formando così quei collaboratori di cui aveva bisogno. Ma quegli altri giovani studenti che si accostarono subito dopo al gruppo di Roma, in seconda schiera, non ebbero più da Fermi alcun insegnamento specifico, al di là delle sue bellissime lezioni, che per altro, sotto il velo di una straordinaria chiarezza, nascondevano spesso al discente le difficoltà concettuali. E, se almeno alcuni di questi giovani impararono certamente molto da Fermi, fu per loro iniziativa, ponendo quesiti e osservando il suo modo di fare ricerca. Non per iniziativa di Fermi.

Di fatto, nel gruppo di Roma, l'unico che avesse alle spalle, tramite il padre, la tradizione di una grande scuola scientifica, era Edoardo. Credo che

questo fatto vada tenuto ben presente da chiunque voglia capire come mai un giovane di soli trentun anni sia potuto diventare d'un tratto il "motore" della fisica italiana. Mi sembra inoltre che sia ancora tutto da esaminare il ruolo svolto dalla scuola italiana di matematica, rappresentata dai suoi ultimi epigoni, nel sorgere e nell'affermarsi di una scuola di fisica.

Com'è ben noto, meccanica statistica e spettroscopia furono i primi campi di ricerca coltivati dal gruppo di Roma. Ma con la formulazione della meccanica quantistica fu presto chiaro che la fisica atomica aveva ormai raggiunto una sistemazione definitiva. Fu allora deciso che il gruppo passasse alla fisica del nucleo atomico, che sola sembrava offrire la possibilità di nuove grandi scoperte. E il passaggio fu realizzato tra il 1931 e il 1934, con gradualità intelligentemente programmata.

Sarebbe interessante esaminare nei dettagli tale gradualità programmata, perchè si tratta della prima realizzazione di quel modello di pianificazione, che verrà poi sistematicamente adottato da Amaldi nel dopoguerra, nella sua opera di ricostruzione della fisica italiana. Ne ricorderò qui solo i punti principali.

Dopo le discussioni iniziali, tra il 1929 e il '31, che portarono alla presa di coscienza della situazione e alla decisione finale, i primi a spostare i loro interessi verso la fisica del nucleo sono i teorici. La partecipazione a importanti congressi internazionali (come il Convegno Volta del 1931) assicura la conoscenza dei problemi aperti correnti nel nuovo campo. Contemporaneamente, una serie di "seminari didattici" assicura a tutti i membri del gruppo le conoscenze di base; nel nostro caso, attraverso la esposizione sistematica da parte di Edoardo Amaldi del contenuto del classico trattato di Rutherford, Chadwick ed Ellis sulla radioattività, allora appena pubblicato.

Vengono poi brevi viaggi all'estero degli sperimentali, col preciso scopo di imparare, presso istituti stranieri opportunamente scelti, determinate tecniche fondamentali. E subito dopo, la realizzazione in istituto delle apparecchiature indispensabili: camera di Wilson, spettrometro a cristallo per raggi gamma, sorgente di neutroni (PoBe), contatori di particelle di vario tipo, e così via.

Intanto, si terminano gli ultimi lavori di ricerca in spettroscopia e si formula un primo concreto programma di ricerca in fisica nucleare. Tutto è pronto alla fine del 1933, quando Fermi propone la sua teoria dei raggi beta. Con l'annuncio, all'inizio del 1934 della scoperta della radioattività artificiale per bombardamento con particelle alfa da parte dei coniugi Joliot-

Curie, a Parigi, si presenta finalmente la grande occasione. E ne seguono subito la scoperta della radioattività artificiale per bombardamento con neutroni e la scoperta dei neutroni lenti col contributo determinante di Edoardo Amaldi.



Figura 1.9: Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Franco Rasetti e Enrico Fermi nel 1934 (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

Dopo un primo studio sistematico delle reazioni nucleari, il gruppo si orientò verso la fisica dei neutroni lenti. Ma verso la fine del 1936 le sorgentine di neutroni ottenute mescolando Emanazione di Radio con polvere di Berillio, in uso a Roma, non erano ormai più competitive con le sorgenti realizzate in Inghilterra e in America, bombardando elementi leggeri con protoni o deutoni accelerati artificialmente. Era dunque indispensabile, per non essere superati, un aggiornamento tecnico.

Segrè, già nell'autunno del '35 era diventato professore a Palermo e Pontecorvo, nel 1936, con una borsa di studio, era andato a lavorare coi Joliot a Parigi. L'aggiornamento tecnico fu realizzato da Fermi, Rasetti ed Amaldi, ancora una volta con una pianificazione intelligente. Un viaggio con breve permanenza in America di Amaldi, per impratichirsi nella progettazione e nell'esercizio di impianti acceleratori tipo Cockcroft e Walton, fu seguito dalla realizzazione in Istituto di un primo impianto modello a 200.000 V. L'impianto definitivo a 1100 KV, progettato da Amaldi, fu poi realizzato da Amaldi, Fermi e Rasetti nel corso dell'anno seguente, presso il Laboratorio di Fisica dell'Istituto di Sanità Pubblica, con la collaborazione dei fisici di quel Laboratorio. L'impianto fu terminato e entrò in funzione

tra la fine del 1938 e l'inizio del 1939, quando Fermi aveva ormai lasciato l'Italia. Il 1938 è infatti l'anno del disastro della neonata fisica italiana.

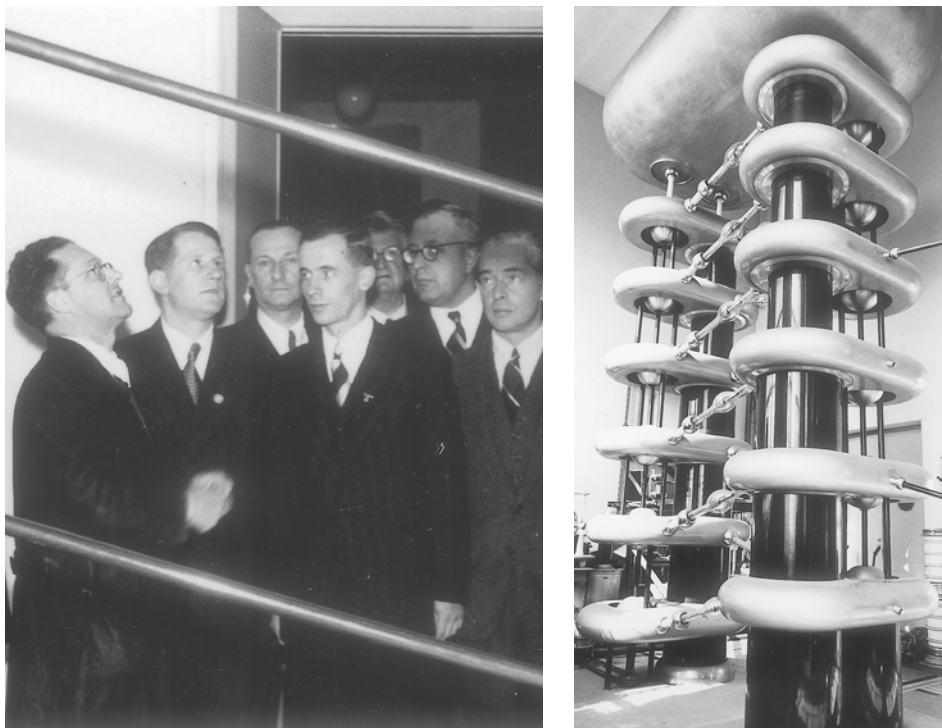


Figura 1.10: Inaugurazione dell'acceleratore Cockcroft-Walton all'Istituto di Sanità, 1939. A sinistra Domenico Marotta e Edoardo Amaldi (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma "La Sapienza").

Il 23 gennaio del 1937, era morto improvvisamente Corbino e il gruppo di Roma si era trovato privo di protezione politica. Antonino Lo Surdo era diventato direttore dell'Istituto di Fisica di Roma e Amaldi, che aveva appena vinto il concorso per la cattedra di Fisica sperimentale dell'Università di Cagliari, fu chiamato invece a succedere a Corbino sulla cattedra di Roma. L'anno seguente, tra l'*Anschluss* e gli accordi di Monaco, il 14 luglio vengono promulgate in Italia le leggi razziali. Privati del posto, personalmente in pericolo o preoccupati per la minaccia imminente sui loro cari, numerosi fisici italiani di primo piano sono costretti a emigrare.

Tra gli ultimi, quando lo scoppio della guerra è ormai imminente, il 2



Figura 1.11: Edoardo Amaldi sulla motonave Vulcania in viaggio per gli Stati Uniti nel 1939 (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

luglio del 1939, si imbarcano a Napoli sulla motonave Vulcania diretta in America, Franco Rasetti ed Edoardo Amaldi. Franco Rasetti porta con sé la madre e parte per non ritornare. Edoardo, invece, parte con un incarico ufficiale: studiare la realizzabilità di un ciclotrone da installare all'Esposizione Universale di Roma, programmata per il 1942. Lascia in Italia due figli e la moglie Ginestra con un terzo figlio in arrivo.

Durante la sua permanenza in America, Edoardo fece dei sondaggi per trovare un posto per sé. Il risultato fu però negativo e lo stesso Fermi, che lo ospitò per qualche tempo a Leonia, gli disse apertamente che non lo avrebbe aiutato, perché doveva dare la precedenza a coloro che nel loro Paese erano stati cacciati dal posto.

Intanto era scoppiata la guerra e le comunicazioni tra gli Stati Uniti e l'Italia rimasero interrotte per un mese e mezzo. Poi improvvisamente i collegamenti furono ripristinati e Amaldi si accinse al ritorno. La vigilia dell'ultimo giorno utile per la partenza (è Amaldi stesso che narra), incontrò alla Columbia University Felix Bloch, che già conosceva dai viaggi precedenti. Bloch lo portò a pranzo con sé e, durante il pranzo, cercò in ogni modo di convincerlo a non ritornare in Italia. Alla risposta di Edoardo, che lui aveva lasciato in Italia la famiglia, cui erano stati negati i passa-

porti, Bloch continuava ad insistere: la guerra sarebbe durata sei mesi o al massimo un anno. Sarebbe ritornato a guerra finita. Al fermo rifiuto di Edoardo, alla fine Bloch cambiò improvvisamente discorso: “Decidendo di ritornare, ti trovi di fronte una quantità di cose da dover fare. Dopo ciò che è avvenuto in Italia, poichè ciò che è stato fatto da Fermi è stato distrutto, tu devi cercare di far sopravvivere qualcosa”. E aggiunse in proposito tutta una serie di considerazioni molto chiare e ben definite: “Non sarà facile, concluse, ma se puoi, lo devi fare”. Bloch fu la sola persona a sollevare con Amaldi questo argomento.

Ho voluto raccontare ora questo episodio, non molto conosciuto, perchè esso prova che Edoardo non fu affatto, come qualcuno ritiene, portato dagli eventi ad assumere un certo ruolo, quasi inconsapevolmente. Edoardo era fin d'allora perfettamente conscio della responsabilità che si assumeva ritornando in Italia e di ciò che doveva esser fatto, se lui fosse stato forte abbastanza.

Col suo ritorno in Italia, Edoardo si trovava ad essere ormai l'unico superstite del gruppo di Roma, portato dalle circostanze a occupare la cattedra di Fisica sperimentale, senza direzione d'Istituto. Aveva fino a quel momento fatto ricerca con le spalle protette, come membro giovane di un gruppo molto affiatato, guidato dalle personalità prevalenti di un Fermi e di un Rasetti e in cui lo stesso Segrè era più anziano di lui di tre anni. Era stato ripetutamente all'estero, per lo più per brevi periodi, ma non si era mai trovato a dover portare da solo l'intera responsabilità di un gruppo, a dover scegliere in modo autonomo un indirizzo di ricerca, dovendo incominciare col formarsi dei nuovi collaboratori. *Aveva, lo si tenga ben presente, solo trentun anni.*

Edoardo è stato certamente aiutato nell'espletamento del difficile compito o che si è improvvisamente trovato di fronte, da un certo numero di circostanze favorevoli. Ho già accennato al come, per eredità paterna, egli fosse in grado di valutare la fondamentale importanza della scuola scientifica. Spirito di scuola significa profondo senso del dovere verso il passato, nei confronti del quale siamo debitori, e impegno profondamente sentito verso il futuro, nei confronti dei più giovani che hanno inizialmente bisogno di guida per imparare a scegliere felicemente una loro strada, per procedere poi autonomamente, con motivata fiducia in loro stessi.

Nel corso della sua precedente esperienza col gruppo di Roma, Edoardo aveva inoltre appreso la necessità di una pianificazione intelligente della pro-

pria ricerca, come premessa non solo del successo, ma anche del necessario inserimento nel più vasto quadro della ricerca mondiale. Era fortunatamente rimasta nelle sue mani un'apparecchiatura, l'impianto a 1100 KV della Sanità Pubblica, competitiva con tutte le altre apparecchiature del genere allora esistenti nel mondo. E fu certamente per lui di grande aiuto, confermandolo nella sua determinazione di battersi per la sopravvivenza di una scuola, l'appoggio morale di Ginestra, che non aveva dubbi sui suoi doveri nei confronti del Paese e dei giovani.

Come ogni gruppo di ricerca fortemente vitale, il gruppo di Roma aveva avuto fin dall'inizio la tendenza a espandersi, "colonizzando" altre Università italiane. Ora, per sopravvivere scientificamente, era necessario prima di tutto riunire ciò che di sparso qua e là rimaneva della fisica italiana: bisognava soprattutto che i giovani assistenti, rimasti abbandonati a loro stessi e isolati dopo la cacciata dei capigruppo, non andassero perduti per la ricerca. Così, già nell'autunno del '39, appena tornato dal suo viaggio in America, Amaldi riesce a far trasferire Gian Carlo Wick da Padova alla cattedra di Fisica teorica di Roma e poco dopo, tra il '40 e il '41, furono trasferiti a Roma, come assistente, Nestore Cacciapuoti da Palermo e come ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica Ettore Pancini da Padova e Mariano Santangelo da Palermo, in tal modo, l'attività di ricerca a Roma può proseguire, nonostante le gravissime difficoltà create dalla situazione politica e dalla guerra in Europa. Le direttrici sono la fisica nucleare sotto la direzione dello stesso Amaldi, presso l'Istituto di Sanità Pubblica, e la fisica dei raggi cosmici sotto la guida di Gilberto Bernardini, che era allora professore a Bologna, ma che aveva concentrato la sua attività scientifica a Roma, avendo ottenuto di far finanziare in parte le ricerche sui raggi cosmici dall'Istituto Nazionale di Geofisica, diretto da Antonino Lo Surdo.

Con l'entrata in guerra dell'Italia nel giugno del 1940 e fino all'arrivo a Roma degli alleati nel giugno del 1944, la crisi della fisica italiana raggiunge il suo massimo. Quasi tutti i ricercatori ancora giovani vengono in un modo o nell'altro coinvolti nella guerra. Lo stesso Amaldi è mobilitato e spedito in Africa settentrionale e solo dopo sei mesi viene restituito ai suoi compiti di insegnante universitario.

Non intendo qui ricordare le nostre vicende del tempo di guerra e neppure elencare i risultati malgrado tutto ottenuti nella ricerca: dallo studio della fissione degli elementi pesanti alle misure di *scattering* di neutroni veloci contro protoni e deutoni; dall'assorbimento anomalo dei mesoni μ

nell'atmosfera, ai fondamentali esperimenti di Piccioni, Pancini e Conversi sull'assorbimento nella materia dei mesoni μ alla fine del loro percorso. Tutto ciò è ormai ben noto.

Desidero invece fissare l'attenzione sui caratteri dell'attività di Edoardo Amaldi durante questo periodo di profonda crisi e il successivo periodo della ricostruzione. Tale attività fu indirizzata verso due obiettivi sempre ben coordinati tra loro. Da un lato, Edoardo promosse prima la riorganizzazione di quanto rimaneva della fisica italiana, concentrando le forze residue e mettendole in condizioni di poter proseguire o ricominciare il lavoro di ricerca e ne indirizzò poi lo sviluppo reinserendole nel quadro della ricerca mondiale. Dall'altro lato, proseguì sempre con energia veramente indomabile a far ricerca in prima persona, valendosi dei mezzi e dei collaboratori di cui via via poteva disporre.

Va detto subito, e messo nel massimo rilievo, che, da quando a soli trentun anni di età è rimasto improvvisamente solo, con la pesante eredità del gruppo di Roma, il fronte principale della sua battaglia per la sopravvivenza è stato sempre quello della ricerca personale.

Io lo ricordo, – quando nei brevi intervalli concessimi dalle vicende della guerra tornavo per alcuni giorni in laboratorio – lo ricordo intento come sempre a progettare esperimenti, a montare con le sue mani apparecchiature, a fare personalmente per ore e ore al giorno misure sistematiche, appollaiato su uno sgabello sulla plancia dell'impianto della Sanità, annotando via via i risultati su uno dei famosi quadernoni. E tra una lettura e l'altra, riduceva i dati, calcolando col regolo apportando le correzioni necessarie; predisponendo le tabelle e le medie finali, calcolava gli errori... Il tutto, senza mai perdere il buon umore, sempre pronto alla battuta scherzosa, come se la fatica non ci fosse e come se non avesse altra preoccupazione al mondo che quella di vedere il risultato dell'esperimento in corso.

Va detto chiaro che nulla sarebbe andato avanti, nulla si sarebbe concluso senza il suo continuo e prevalente impegno personale diretto, ben poco aiuto venendogli dai giovani collaboratori, sia per loro difetto di coltura e di esperienza, sia perchè continuamente distratti e allontanati da vicende di guerra e difficoltà del momento.

Contemporaneamente, Edoardo svolgeva, al di fuori dell'Istituto di Sanità, quella incessante azione di riorganizzazione e di stimolo, che ne ha fatto in breve il vero "motore" della fisica italiana. Il suo stile era quanto di più antiretorico si potesse immaginare. Non faceva proclami, non enun-

ciava principi, indirizzi, scopi generali. Evitava ogni chiasso ed ogni esibizione personale. Non ha mai assunto atteggiamenti da capo, da maestro, da “pastore di popoli”.

La sua azione si rivolgeva alle persone singole, a ciascuna delle quali, in discorsi privati, era prodigo di consigli e suggerimenti concreti, non generici, su ciò che oggi o domani si poteva fare: tali quindi da spingere immediatamente all'azione, da suscitare subito energie, anche in chi non sarebbe stato in grado di capire il significato e l'importanza di un obiettivo più generico o distante. E ciascuna delle moltissime persone consigliate molto spesso non sapeva delle altre, non perchè Edoardo volesse tenere tutto ciò segreto o perchè volesse svolgere il ruolo di eminenza grigia, ma semplicemente perchè lasciava che fossero gli altri, se volevano, a darne atto e a dare pubblicità ai suggerimenti, ai consigli, agli aiuti ricevuti.

Naturalmente, non tutti hanno sempre risposto positivamente alle sue sollecitazioni. Può darsi che egli stesso abbia fatto qualche errore, sia sopravvalutando le capacità di qualcuno, sia non rendendosi bene conto di qualche situazione personale di difficoltà contingente non immediatamente superabile. Ma, in generale, questa opera costruttiva incessante, diretta da un'assoluta limpidezza di intenti e da una profonda e generosa onestà, non poteva non avere successo, gettando le basi di quella generale coerenza di azioni, di quella solidità morale di ciascuno, che ha reso possibile l'opera collettiva di ricostruzione, nel successivo decennio.

Si può fissare come data d'inizio della ricostruzione quella dell'arrivo a Roma delle truppe alleate, il 6 giugno del 1944. Il relativo periodo è stato magistralmente dallo stesso Amaldi, in uno scritto che ormai tutti conoscono. Da tale scritto, tuttavia, non emerge in modo sufficiente il ruolo decisivo che egli stesso vi ha svolto. In esso, come in numerose altre occasioni, egli dà atto dei contributi importanti alla ricostruzione di altri fisici italiani, primi tra tutti Gilberto Bernardini e Bruno Ferretti, ma anche, nei loro ruoli, Giovanni Polvani, Giuseppe Bolla ed alcuni altri. Io credo tuttavia di non far torto a nessuno insistendo nel dire che il ruolo svolto da Edoardo Amaldi è stato sempre quello decisivo.

C'era in tutti una esasperata volontà di riprendere a vivere, di riportare il Paese in condizioni di indipendenza, di ritornare a una esistenza normale. E questa è stata senz'altro una componente fondamentale di quella straordinaria concordanza di intenti che ha reso possibile il rapido risorgere della fisica italiana, il suo autoorganizzarsi in una scuola e il suo inserirsi con

piena dignità nel quadro della ricerca fisica internazionale. Ma tutto ciò non sarebbe potuto accadere se non ci fosse stato per tutti un punto di riferimento sicuro, qualcuno che avesse un'idea assolutamente chiara degli scopi da raggiungere e delle vie da seguire, basata su una consapevole e meditata esperienza precedente e, diciamo pure, una tensione morale tale da privilegiare sempre gli interessi comuni rispetto al particolare di ciascuno.

Con l'arrivo a Roma degli alleati, l'attività di ricerca, mai veramente interrotta, fu subito ripresa con straordinaria energia e con la liberazione del Nord si ristabilirono i contatti con gli altri fisici italiani. Tra il Convegno di Como del novembre del '45 e quello di Bologna della primavera del '46, fu rifondata, con Giovanni Polvani presidente e Edoardo Amaldi vicepresidente, quella Società italiana di Fisica che svolgerà negli anni seguenti una importantissima azione di coesione interna, promozionale e propagandistica di tutta la fisica italiana.

La ripresa del lavoro e l'avvio di una riorganizzazione non erano tuttavia sufficienti per garantire l'avvenire di una scuola. Occorreva mettersi nuovamente a confronto con la ricerca internazionale e reinserirsi in essa. In quell'immediato dopoguerra, Amaldi era l'unico che avesse una effettiva esperienza internazionale e precedenti legami da ristabilire.

La prima occasione per una ripresa dei contatti fu quella offerta dalla Conferenza di Cambridge (22-27 luglio 1946), cui parteciparono Amaldi, Bernardini e Ferretti, presentando i risultati ottenuti in Italia in fisica nucleare e nella fisica dei raggi cosmici durante il periodo precedente. Alcuni mesi dopo, tra il settembre e il dicembre del 1946, Amaldi fece un lungo viaggio attraverso l'America, da cui trasse importanti elementi per una più esatta valutazione della situazione della fisica italiana.

Ma prima di parlare dei risultati di questo importantissimo viaggio, – con il che vorrei sostanzialmente concludere questa mia sommaria rievocazione – ritengo necessario almeno accennare ad alcuni aspetti di questo periodo della ricostruzione, che vengono di regola semplicemente rimossi. Intendo dire che all'incessante azione di stimolo e di riorganizzazione portata avanti da Amaldi, non tutti coloro che avrebbero dovuto hanno di fatto collaborato sempre positivamente.

Era, per esempio, molto importante che gli ormai numerosi giovani che incominciavano allora ad essere attratti alla fisica dai grandi successi da questa conseguiti negli ultimi decenni, trovassero in ogni Università italiana professori esperti, capaci di avviarli competentemente alla ricerca au-

tonoma. Invece, c'è stato in quegli anni, tra il 1945 e il 1950, un secondo esodo che coinvolse numerosi tra i fisici più in vista. Se il primo esodo, del 1938–39, era stato forzato dalla persecuzione razziale, questo secondo era da attribuirsi solo al prevalere di interessi e implicava in pratica il rifiuto di contribuire alla ricostruzione del Paese. Così, ad esempio, nell'inverno del 1945–47, emigrò Oreste Piccioni, nell'autunno del '47 Giuseppe Cocconi. Altri, a dire il vero, si comportarono in modo molto diverso. Passarono all'estero un certo periodo di tempo, il che favorì il loro aggiornamento, e poi, ritornati in Italia, contribuirono molto validamente, come per esempio Persico e Salvini, al positivo sviluppo della fisica italiana.

Ma ritorniamo al viaggio di Amaldi in America, nell'autunno del 1946. Al Congresso Internazionale di Princeton, ai primi di settembre, Edoardo incontrò, per la prima volta dopo otto anni, Enrico Fermi, di cui fu poi per qualche tempo insieme alla moglie Ginestra ospite a Chicago. Fermi informò Amaldi che l'Università di Chicago era disposta ad offrirgli una cattedra. Gli parlò anche della già iniziata progettazione di due acceleratori, uno per protoni ed uno per elettroni, che avrebbero reso l'*Institute for Nuclear Studies* uno dei centri di ricerca meglio attrezzati del mondo.

Scrivendo Amaldi: “La proposta era oltremodo lusinghiera e attraente, tanto da scuotere fortemente la mia precedente intenzione di restare in Italia, dove sentivo una certa responsabilità verso i ricercatori più giovani e il dovere di contribuire alla ricostruzione, nel mutato clima politico”.

La tentazione, dunque, fu molto forte: non c'era alcuna possibilità di dubbio su quale fosse la decisione suggerita dall'interesse personale. L'alternativa era chiara. Da una parte, un Paese distrutto, in cui per giungere a fare validamente ricerca si doveva ripartire praticamente da zero, dedicando agli altri gran parte del proprio tempo e della propria capacità di lavoro, battendosi quotidianamente contro immaturità, impreparazione, egoismi spesso maldestramente camuffati, addossandosi la responsabilità di decisioni, lasciando agli altri spesso il merito dei progressi e dei successi e accollandosi il peso degli inevitabili errori. Dall'altra parte, un Paese ricco, organizzato, tranquillo, tutte le più moderne attrezzature a disposizione, la collaborazione rinnovata con Fermi in un ambiente di altissimo livello scientifico, la possibilità di dedicarsi interamente alla ricerca senza altra preoccupazione che la ricerca stessa.

Edoardo, tuttavia, prese rapidamente la decisione di tornare in Italia. E con il suo rientro, poco prima del Natale del '46, ha veramente inizio un



Figura 1.12: Edoardo Amaldi, Gilberto Bernardini e Ettore Pancini nel 1948, al Laboratorio della Testa Grigia sopra Cervinia (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

nuovo capitolo nella storia della fisica italiana.

Questo capitolo è generalmente noto e non è il caso che io lo racconti: me ne mancherebbe anche il tempo. Mi limiterò pertanto a due brevissime osservazioni, per mettere meglio in luce il modo in cui Amaldi ha sempre inteso la pianificazione della ricerca, e le motivazioni che sono sempre state all’origine della sua politica.

Il suo viaggio era servito a confermare da un lato l’ottimo livello della produzione scientifica italiana del periodo della guerra e dell’immediato dopoguerra. Ma aveva d’altra parte anche messo in evidenza la nostra fortissima arretratezza per ciò che concerneva le attrezzature e le tecniche. L’impianto della Sanità, che nel ’39 competeva coi maggiori impianti stranieri, era ora completamente superato e con esso era impensabile fare sui neutroni ricerche che non fossero del tutto marginali. La costruzione imme-

diata di un nuovo moderno acceleratore era impensabile, sia per mancanza di mezzi, sia perchè non si poteva contare sull'apporto dell'industria italiana, totalmente impegnata nella ricostruzione del Paese. Così, fu deciso di interrompere le ricerche sulla fisica dei neutroni e di concentrare ogni sforzo sulla fisica dei raggi cosmici, che richiedeva tecniche meno costose e in cui potevamo più facilmente competere con gli altri Paesi. Amaldi stesso, lasciata la Sanità, costituì un nuovo gruppo presso l'Istituto di Fisica e si dedicò allo studio dello scattering anomalo nella materia dei mesoni μ di alta energia.

Per ciò che concerne l'altro aspetto della sua attività, quello di organizzatore e politico della ricerca, si fa sempre più evidente in questo periodo il suo agire secondo un preciso disegno programmato a lungo termine.

Dedicava sempre prevalentemente, quasi esclusivamente, la sua attenzione ad una sola impresa per volta, secondo un ordine di precedenza niente affatto casuale. Era sua l'iniziativa, ma cercava sempre collaborazione e cercava di spingere gli altri avanti a se. Non appena si rendeva conto che l'impresa era avviata e poteva ormai andare avanti da sola, nelle mani della persona più idonea, si disimpegnava gradualmente, per passare all'impresa successiva.

Un esempio tipico è offerto dalla sua azione per promuovere il sorgere nel nostro Paese di una ricerca nucleare applicata. Fece la prima mossa subito dopo il Convegno di Como del 1945, prendendo contatto a Milano con Luigi Morandi, commissario governativo alla Montecatini. Nei mesi successivi, compilò un rapporto di una trentina di pagine su "La fisica in Italia", avanzando precise proposte per l'acquisizione di attrezzature scientifiche e la preparazione di personale qualificato, in vista di uno sviluppo in Italia delle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare. Il rapporto fu inviato a Morandi e a Valletta, amministratore delegato della FIAT. Quando tuttavia, all'inizio del 1946, Giuseppe Bolla, allora professore di Fisica superiore all'Università di Milano, andò a trovarlo a Roma e gli sottopose un progetto elaborato da lui con Salvetti, Salvini e l'ing. Silvestri della Edison, di un laboratorio finanziato da varie industrie interessate e rivolto allo sviluppo della fisica nucleare applicata, aderì immediatamente, spingendo gli autori del progetto alla fondazione del CISE. Col CISE collaborò poi per alcuni anni, consigliando Bolla sulla conduzione del laboratorio e sulla impostazione e sviluppo dei programmi e soprattutto facendo lezioni di fisica dei neutroni ai ricercatori. Poi, trasferita così ai giovani la sua espe-



Figura 1.13: Edoardo Amaldi alla scuola estiva di Varenna nel 1954 (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

rienza, come vide che il CISE era ben avviato, sotto la guida della persona adatta, che stava ormai preparando quel personale altamente qualificato di cui c'era estremo bisogno in Italia, si disimpegnò gradualmente, mentre cresceva il suo interesse e il suo impegno per la creazione dei Laboratori del CERN.

Questo schema d'azione caratteristico si ripete nella fondazione, nell'agosto del 1951, e nell'avvio dell'Istituto di Fisica Nucleare, di cui Gilberto Bernardini fu il primo presidente, e nella creazione del CERN, la cui storia è stata più volte narrata dallo stesso Amaldi.

Tutti ormai sanno il ruolo determinante svolto da Edoardo a questo ultimo fine e come, in questa azione di promozione di una grande impresa di collaborazione scientifica internazionale, egli si sia rivelato un grande diplomatico e, si può aggiungere, un uomo di stato di grande levatura in senso assoluto.

Dopo il grande successo del CERN, egli si è sempre più dedicato ad una instancabile attività, non ancora abbastanza conosciuta perchè silenziosa e schiva, per la pace e per la collaborazione tra i popoli, per la difesa dei

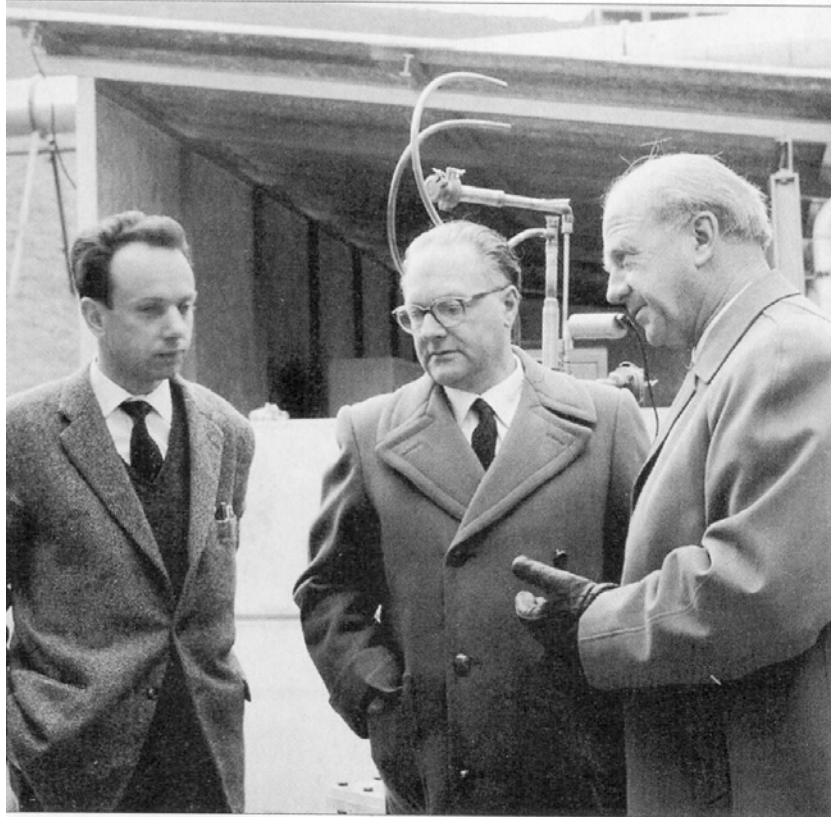


Figura 1.14: Da sinistra: Giuseppe Fidecaro, Edoardo Amaldi e Werner Heisenberg (Foto CERN).

diritti umani.

Credo che, dalle linee generali della storia che ho cercato qui di riassumere, emerga in modo chiaro la figura di un uomo sotto molti aspetti eccezionale. Un uomo disinteressato, generoso e forte, capace di vedere molto lontano, con idee chiare e solido buon senso, dotato di una carica di energia pressochè inesauribile. A lui il nostro Paese deve veramente moltissimo. Questo Paese, così prodigo di facili riconoscimenti per chiacchieroni ed imbonitori di ogni risma, non gli ha concesso finora neppure una frazione dell'attenzione e della gratitudine che merita. Ma noi, che siamo stati testimoni per tanti anni, giorno dopo giorno, dei suo agire, non dobbiamo,



Figura 1.15: Edoardo Amaldi, Giorgio Salvini e Carlo Rubbia, Roma 1984 (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

non *possiamo* dimenticare quello che è il nostro maggiore debito verso di lui: la lezione morale che emerge da tutto il suo modo di affrontare la vita.

(Roma, 15 giugno 1990)

1.4 L'uomo Segrè: ricordi di un allievo

Credo di essere ormai l'ultimo superstite, tra coloro che sono stati allievi di Emilio Segrè, in quel primo periodo romano della sua carriera, quando egli era prima assistente e poi aiuto nel vecchio Istituto di Fisica di via Panisperna. E, probabilmente, sono anche l'unico che può dire di essere stato veramente suo allievo, avendo imparato direttamente da lui, dalla sua viva voce, una quantità di cose. Riandando col pensiero a quei tempi ormai tanto lontani, ripensando oggi alle mie interazioni con lui, da discente a docente, ne emerge una figura di uomo alquanto diversa da quel cliché convenzionale, che proprio in quei tempi gli è stato fabbricato addosso e che lo ha poi sempre accompagnato, quel cliché di uomo burbero, brusco, arrogante, pieno di sé, che gli ha sempre procurato difficoltà ed antipatie molto estese. Nel gruppo di via Panisperna, a ciascuno, com'è ben noto,



Figura 1.16: Edoardo Amaldi con Margareth Thatcher e Bernard Gregory (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

era stato affibbiato un nomignolo scherzoso. E come Enrico Fermi era il Papa, per la sua posizione di capo e per la sua infallibilità scientifica, così Emilio Segrè era soprannominato il Basilisco. Il che dice tutto, sui lati del suo carattere che si intendevano sottolineare.

Era, certamente, un uomo consapevole del suo valore e che non faceva complimenti con nessuno, ma neppure con se stesso. Diceva sempre esattamente quello che pensava, il che, nel nostro mondo generalmente ipocrita, è poco consigliabile. In particolare, se riteneva che un collega fosse un imbecille (come ce ne sono tanti...) lo diceva apertamente, anche se avrebbe magari potuto evitare di andarlo a dire direttamente all'interessato, il quale non ne era di regola particolarmente felice. Quello che però ci si dimentica sempre di dire, è che Segrè era altrettanto pronto a riconoscere apertamente e a dichiarare i meriti degli altri, quando questi meriti effettivamente esistevano. Il che lo mette automaticamente al riparo da ogni accusa di essere arrogante e pieno di sé. Per darvi un'idea più viva di che uomo fosse, vorrei ora raccontarvi alcuni episodi di cui sono stato direttamente partecipe. Sono episodi anche della mia vita passata, strettamente personali quindi, e devo di conseguenza scusarmi con voi per il fatto di dover parlare anche di me stesso. Ciò che è importante, tuttavia, è il ruolo che vi svolge Emilio Segrè e gli aspetti del suo carattere che questi episodi rivelano. Ricordo, innanzi tutto, il mio primo incontro con Emilio Segrè. Dopo aver frequentato i primi due anni del corso di laurea in fisica all'Università di Genova, su consiglio di alcuni professori di quella Università, ai



Figura 1.17: Emilio Segrè, Edoardo Amaldi e Bruno Rossi nel 1984 a Roma (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

primi di novembre del 1934, mi ero trasferito all’Università di Roma, dove il gruppo di ricercatori capeggiato da Enrico Fermi aveva appena scoperto la radioattività artificiale indotta da bombardamento con neutroni e stava diventando famoso. Ragazzo di provincia, privo di esperienza e di cultura, alquanto spaesato nella grande città e nel nuovo ambiente, avevo incontrato all’Università un altro studente del terzo anno di fisica, Alfonso Barone (il Barone, che diverrà poi ricercatore e direttore dell’Istituto di Ultracustica Orso Mario Corbino del Consiglio Nazionale delle Ricerche). E avevamo insieme subito scoperto di essere gli unici due studenti del terzo anno di fisica: prima di noi, per due anni, non c’era stato nessuno. Pochi giorni dopo l’inizio delle lezioni, (era stato appena scoperto, proprio in quei giorni il rallentamento dei neutroni nelle sostanze idrogenate), fummo convocati mediante avviso nell’albo all’Istituto di Fisica, per l’inizio della frequenza alle Esercitazioni di Laboratorio del terzo anno. E, in una stanza del piano terra del vecchio Istituto di via Panisperna, un pomeriggio, dopo una breve attesa, vedemmo arrivare due professori in camice bianco, poco più anziani di noi, che ci squadravano con aria molto critica, evidentemente non molto soddisfatti. Erano, naturalmente, Emilio Segrè ed Edoardo Amaldi. Il primo a prendere la parola fu Emilio Segrè, l’aiuto dell’Istituto, e il discorsetto che ci fece fu talmente chiaro e incisivo, che ancora oggi, dopo più di cinquantacinque anni, sono in grado di riferirlo quasi alla lettera: Noi (disse) qui, allevamenti di cavoli non ne facciamo. Se siete gente in gamba, bene,

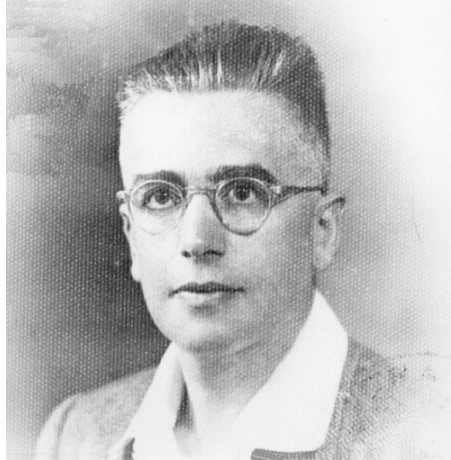


Figura 1.18: Emilio Segrè nei primi anni Trenta (Archivio Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza”).

potete restare. Se no, è meglio che ve ne andiate immediatamente. Il resto di quel primo incontro proseguì più o meno su questa falsariga, mentre noi due, letteralmente gelati, riuscivamo a malapena a rispondere alle domande che ci venivan rivolte. Ricordo che poi, mentre scendevano tristemente per il vialetto verso via Panisperna, Barone mi diceva: “Domattina, andrò a presentare domanda per cambiar facoltà”. Al che, io ribattevo: “Aspettiamo qualche giorno. Vediamo prima un po’ meglio come si mettono le cose”. E le cose si misero poi meglio di quanto avevamo in quel primo momento temuto: riuscimmo a sopravvivere.

In quell’anno accademico 1934–35, le lezioni più importanti per gli studenti del terzo anno di fisica erano concentrate nelle mattine dei giorni pari. Dalle otto alle nove, Enrico Fermi teneva le lezioni del suo corso di Fisica teorica. Dalle nove alle dieci, sempre Fermi svolgeva per incarico il corso di Fisica Matematica. Dalle dieci alle undici, Franco Rasetti teneva un corso che si intitolava Spettroscopia, ma che era in realtà il primo corso della nascente Fisica nucleare. Infine, dalle undici alle dodici, Emilio Segrè, che aveva da poco conseguito la libera docenza, teneva in aula un corso di Esercizi di Fisica, un corso in cui, insieme agli studenti, trattava e risolveva alla lavagna una quantità di problemi, applicando le nozioni che avevamo apprese nei corsi teorici. Insieme agli studenti, i quali non erano molti,

c'era, qualche volta, una studentessa del corso di laurea in matematica e fisica, che, appollaiata all'estremità di un banco a metà altezza, tacendo, faceva da pilastro. E poi, c'ero io. Così, quelle lezioni si risolvevano in un continuo colloquio tra me che chiedevo, esponendo i miei dubbi e ponendo questioni, e il professore che si impegnava nelle risposte, fino a chiarirmi completamente ogni dubbio. Ho imparato in quell'anno da Emilio Segrè veramente una quantità di cose e soprattutto sono stato guidato a imboccare le vie giuste per imparare e per capire la fisica. Ho anche imparato come e fino a che punto un professore ha il dovere di impegnarsi, nel suo insegnamento. Ricordo una volta che venne alla luce che io non avevo mai sentito parlare di rifrazione conica interna e di rifrazione conica esterna, due fenomeni dell'ottica dei cristalli abbastanza riposti e non molto semplici. Dopo avermi spiegato alla lavagna di che cosa si trattava, Segrè si diede a lungo da fare, in modo incredibile, buttando sottosopra solai e cantine dell'Istituto, fino a che non riuscì a scovare sul tetto di un armadio dimenticato, degli antichi modelli di gesso, che dimostravano in tre dimensioni la forma delle superfici d'onda nel cristallo, nei due fenomeni in questione.

Nell'autunno del 1935, Segrè vinse il concorso per la cattedra universitaria e fu nominato professore di Fisica sperimentale all'Università di Palermo. Prima di partire, mi chiamò e mi propose di trasferirmi a Palermo con lui: "Io là, la faccio laureare e, per dopo, le garantisco subito il posto di assistente", mi disse. E aggiunse: "Naturalmente, questa offerta ha senso se non le danno il posto qui a Roma, perchè, in questo caso, io stesso le consiglieri di rimanere a Romà'. Io, allora, provai a tastare il terreno, per avere un'idea di quali prospettive ci fossero per me, di lì a un anno. Dovevo infatti laurearmi nella sessione estiva del '36. Ricordo che a una mia vaga domanda, Fermi rispose esplicitamente: "Ageno, adesso, un posto disponibile di assistente non esiste. Però, nel prossimo autunno potrebbe esserci". E allora, d'accordo con Segrè, presi la decisione di correre il rischio. Di fatto, mi son poi laureato, con Fermi relatore, il 30 giugno del '36 e nel successivo settembre mi raggiunse a Genova una lettera, che mi invitava a ritornare a Roma, per assumere il ruolo di assistente. Quella decisione, di non seguire Segrè a Palermo, è stata una specie di spartiacque nella mia vita. Se avessi scelto altrimenti, avrei collaborato con Emilio Segrè nelle importanti ricerche da lui fatte a Palermo, in particolare nella scoperta, in materiale irradiato al ciclotrone di Berkeley, dell'elemento 43, il tecnezio, scoperta che egli fece con Perrier nel 1937. Poi, quasi certamente, avrei se-

guito Segrè in America, e sarei diventato un particellaro. Invece, ho dovuto poi dedicarmi essenzialmente a fare la guerra e, con 22 anni di ritardo per le sue conseguenze, sono diventato un biofisico.

Nel 1985, quando a settant'anni di età ho lasciato la cattedra, fu organizzato all'Istituto di Fisica di Roma un piccolo convegno. Segrè in quei giorni era a Roma, impegnato in una commissione del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Volle tuttavia liberarsi dall'impegno per una mezz'ora, per fare atto di presenza al convegno, dove, presa la parola, mi ringraziò scherzosamente per la mia frequenza a quel suo corso di Esercizi di Fisica del '34, in quanto, unico studente, gli avevo consentito di esercitare la libera docenza.

Ho voluto raccontarvi questi episodi, tratti un po' a caso dai molti che rimangono nella memoria, perchè mi sembra che mettano bene in luce le qualità umane del Basilisco. Che era certamente un duro. Ma chi non è, almeno sotto un qualche aspetto, un duro, non lascia alcuna traccia con la sua vita, non dà contributi importanti alla vita degli altri.

(Roma, marzo 1990)

1.5 Ricordo di “zia Nella”

Il 2 luglio del 1988, a novantacinque anni e mezzo di età, se ne è andata silenziosamente zia Nella. Noi, che siamo stati suoi allievi, ne abbiamo avuto notizia solo alcuni mesi dopo e non le abbiamo portato quell'ultimo saluto cui aveva diritto. Il che ancora ci pesa, nel pensiero, come una mancanza a cui non si può rimediare.

Coloro che, come studenti di fisica, fisica-matematica, ingegneria, hanno frequentato tra il 1917 e il 1958 (un periodo di più che quarant'anni) l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma, sono stati tutti allievi di zia Nella, a “Fisichetta”, come si chiamavano allora scherzosamente gli Esercizi di Fisica del primo biennio, in contrapposizione a “Fisiconna”, il corso biennale di Fisica Sperimentale.

Si può scommettere senza timore di perdere, che la stragrande maggioranza di loro non ricorda oggi nulla della ventina di esercitazioni pratiche allora eseguite. Ma non può certo aver dimenticato la figura alta, snella, un po' legnosa, di quella signorina dall'età indefinibile, sempre in moto, camice e zazzera bianchi svolazzanti, che li aveva istruiti e poi guidati, con

quella sua vociaccia inconfondibile, e terribile, che riempiva ogni angolo dell'Istituto, aspra insieme e cortese, aggressiva e serenamente cordiale.

Zia Nella apparteneva a quella rara categoria di docenti, che è del tutto indifferente che insegnino matematica o greco, fisica pratica o sanscrito; che lasciano sempre una traccia nell'animo dei giovani, non per le specifiche nozioni che loro eventualmente trasmettono, ma per il modello di comportamento che rappresentano. È per questo che ci teniamo a dire, quasi con una nota di orgoglio, di essere stati suoi allievi.

Nata a Pisa, il 23 febbraio del 1893, Nella Mortara era la quarta dei cinque figli del senatore Lodovico Mortara e di Clelia Vivanti, mantovani. Da Pisa, si trasferisce con la famiglia prima, a cinque anni, a Napoli e poi, a dieci anni, nel 1903, a Roma, dove studia al liceo Visconti e si laurea in fisica presso la locale Università, tra il 1915 e il 1916.

A partire dal 1917, è assistente presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma, prima del professore Orso Mario Corbino e poi del professor Giulio Cesare Trabacchi, con il compito di organizzare e guidare le esercitazioni pratiche di fisica del primo biennio, compito che conserverà poi sempre a vario titolo, anche dopo aver conseguito la libera docenza, fino alla rottura del suo rapporto con l'Università, a sessantacinque anni.

Nel corso della seconda guerra mondiale, estromessa dall'Università perché ebrea, si reca dapprima in Brasile, presso il fratello maggiore Giorgio, là emigrato a causa delle persecuzioni razziali. Ben presto, però, il pensiero della famiglia lontana e del paese, travolto dalle vicende belliche, la convince della necessità di ritornare. E nel marzo del 1941, con un viaggio fortunoso, in piena guerra, torna a Roma, dove rimarrà poi sempre. Dall'ottobre del 1943 al luglio del 1944, è in clandestinità, ospite, sempre a Roma, delle suore Orsoline Polacche.

Finita la guerra, riprende serenamente il suo posto e il suo solito compito presso l'Istituto di Fisica dell'Università. Tutti ormai la conoscono: riconoscono la sua inconfondibile sagoma mentre, in bicicletta, camice bianco e zazzera nel vento, sfreccia per la Città e per le vie di Roma, tutti sanno dei suoi bagni di mare invernali al Lido dei Pini di Anzio, tutti sorridono con simpatia al suono della sua voce, che trasforma ogni sussurro confidenziale in un comunicato ufficiale, che raggiunge tutte, proprio tutte le orecchie. E rispettano tutti la sua straordinaria franchezza, che non teme di dire sempre anche le verità più sgradevoli, quelle sulle quali troppo spesso silenziosamente ci si accorda nel far finta di averle ormai dimenticate.

Ma quello che più colpisce i suoi giovani allievi è il senso del dovere, lo scrupolo e lo slancio con cui continua sempre ad assolvere, giorno dopo giorno, malgrado l'età non più verde, i compiti che si era assunta da giovane. Ormai, è la zia universale e nessuno si sogna di chiamarla altrimenti che con l'affettuoso nomignolo di "zia Nella".

Quando, nel 1958, fu costretta a lasciare l'Università, il professor Giulio Cesare Trabacchi era ancora Capo dei Laboratori di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità. Zia Nella era stata assistente di Trabacchi, che aveva ricoperto per molti anni per incarico la cattedra di Fisica per gli studenti di medicina all'Università di Roma. Ora, fu accolta come ospite dell'Istituto Superiore di Sanità, tuttavia con responsabilità e compiti, che facevano di lei un membro a pieno titolo dei Laboratori di Fisica. Così, per altri vent'anni, sotto la direzione di Trabacchi prima e poi per tutto il periodo della mia direzione e successivamente ancora fino al 1978 circa, zia Nella fu la principale aiutante della professoressa Daria Bocciarelli, al Reparto di Microscopia elettronica dei Laboratori di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità.

Mostrò sempre, anche nella nuova posizione, lo stesso senso del dovere, lo stesso scrupolo e slancio nell'assolvimento quotidiano dei suoi compiti, che era stato sempre il suo caratteristico modo di affrontare la vita. E, tuttavia, non si poteva spesso fare a meno di pensare quanto le dovesse costare il non dar mostra mai di alcun cedimento al peso dell'età, il volere a ogni costo continuare ad affrontare anche quelle fatiche di laboratorio, che si affidano di regola a giovani tirocinanti, contentandosi di assisterli col proprio consiglio.

A ottantacinque anni, il definitivo riposo, che tuttavia non è stato, purtroppo, quella serena e vigorosa vecchiaia, che ci si poteva aspettare in una persona così piena di vita. Investita su un marciapiede da una sciocca ragazzetta in bicicletta, è stata costretta a passare gli ultimi anni quasi immobilizzata su una sedia a rotelle, molto isolata, lei che aveva dato tanto a un così gran numero di giovani e che si era abituata a vivere in mezzo a loro.

Ogni tanto, mi telefonava, nelle ore serali quando sapeva di trovarmi a casa. Sapeva che la cosa mi faceva piacere, ma non voleva farmi perdere tempo, non voleva distrarmi dagli impegni quotidiani.

Non l'ho più rivista, nell'ultimo periodo. Preferisco ricordarla com'era

1. Mario Ageno

tanti e tanti anni fa, quando, inesperto ragazzetto di provincia, ero piovuto a Roma come studente del terzo anno di fisica. Ricordo il contrasto tra la ruvida, sincera, autentica umanità di zia Nella, e il sofisticato ambiente del piano di sopra: l'ambiente in cui stava nascendo la fisica del nucleo atomico. Già nel corso del mio ultimo anno di università, ero stato assunto con una piccola retribuzione (che mi faceva molto comodo) come aiutante di zia Nella per le esercitazioni di fisica del primo biennio e così passavo le mie giornate, oscillando tra i due piani del vecchio Istituto di via Panisperna. La cordialità molto anglosassone con cui, dopo i primi difficili mesi, ero stato accolto nel gruppo del piano di sopra, il vedermi trattato dentro e fuori dell'Istituto quasi come uno di loro, non riusciva ad allentare la continua tensione derivante dalla consapevolezza della mia totale impreparazione: non sapevo pressochè nulla di fisica, in un ambiente in cui non solo la nuova fisica veniva fatta, ma la padronanza della fisica "vecchia" veniva data per scontata. E, nella mia provinciale inesperienza, non sapevo mai come comportarmi. Cercavo di imparare osservando, ma, poi, generalmente sbagliavo. Zia Nella aveva capito la situazione e, senza che io allora me ne rendessi conto, mi offriva un aiuto molto importante: la possibilità di riprendere fiato, e coraggio, cimentandomi con argomenti che fossero alla mia portata.

Ora che se ne è andata, rimangono questi ricordi.

(Roma, agosto 1989)



Figura 1.19: Nella Mortara nel 1949, durante una gita sul lago di Como in occasione del Convegno della Società Italiana di Fisica (Cortesia Franca Magistrelli).

Capitolo 2

Sebastiano Sciuti

Sebastiano Sciuti, nato a Napoli il 5 giugno 1917, si è laureato nel dicembre del 1938, anno in cui seguì il corso di fisica teorica tenuto a Napoli da Ettore Majorana. Dopo la laurea venne assunto come assistente incaricato di Antonio Carrelli, ma lo scoppio della guerra interruppe la sua attività scientifica fino al 1945. Durante il corso come allievo ufficiale venne assegnato all'Istituto superiore per le comunicazioni, dove conobbe Oreste Piccioni e Franco Lepri che gli presentarono Gilberto Bernardini e Edoardo Amaldi. Alla fine del conflitto iniziò a lavorare nel campo dei raggi cosmici con Italo Federico Quercia e Brunello Rispoli. Nella seconda metà degli anni '50 i suoi interessi si spostarono verso la spettroscopia nucleare, campo in cui è rimasto attivo fino al 1967, quando il suo interesse si è rivolto allo studio e alla realizzazione di nuove metodologie atomiche e nucleari per analisi non distruttive applicate al controllo e alla diagnostica di sistemi meccanici, chimici, biologici e, in particolare, di opere d'arte. Nell'ambito di queste ricerche ha realizzato e impiegato, per la prima volta in Italia, una strumentazione portatile per l'analisi non distruttiva (fluorescenza dei raggi X) di elementi chimici caratteristici di oggetti artistici quali bronzi, ori e dipinti antichi. Negli anni successivi ha raffinato la tecnica di analisi, sempre avvalendosi di strumentazione portatile e negli anni '80 ha realizzato le prime campagne sistematiche per lo studio *in situ* di dipinti conducendo ricerche su 20 dipinti di celebri artisti come Caravaggio, Raffaello, Michelangelo e Veronese. Con la stessa tecnica sono stati analizzati affreschi, gioielli e libri antichi o sculture, come la Lupa Capitolina. In particolare sono stati analizzati i pigmenti pittorici del Giudizio Universale di Michelangelo nella Cappella Sistina, un affresco di 80 m². Per la prima volta una superficie di queste dimensioni è stata analizzata con modalità non distruttive in centinaia di punti, fornendo un quadro esaustivo sui pigmenti originali, su quelli di restauro e quelli di copertura, sovrapposti in epoche successive, generalmente per

motivi di pudore. Per questi studi si è sempre avvalso di équipes multidisciplinari composte da fisici, ingegneri, storici dell'arte e archeologi. Nel 1998 gli è stato conferito dal Presidente della Repubblica il Diploma di medaglia d'oro ai benemeriti della Scuola della Cultura e dell'Arte. Attualmente è Professore Emerito di Fisica Nucleare presso l'Università di Roma "La Sapienza" dove, dal 1945 ad oggi, ha svolto la sua carriera didattica e scientifica.

2.1 Le conferenze di Orso Mario Corbino

Come nasce la tua decisione di studiare fisica?

Perché ho scelto fisica? Ho scelto fisica perché ho sentito una conferenza di Orso Mario Corbino in occasione del Congresso annuale della Società per il progresso delle Scienze. Era il 1935. Lo sentii a Roma e poi anche a Napoli.

Di che cosa parlava Corbino in quella occasione? C'erano già state tutte le grandi scoperte del gruppo romano...

Corbino parlava delle prime esperienze di fisica dei neutroni. Una cosa interessantissima!

Eri affascinato?

Sì, e naturalmente quando io entrai all'università – avevo 17 anni – dissi a mio padre: "Papà mandami a Roma" e lui disse "Figlio mio!" – siciliano all'antica – "Figlio mio, tu sei così giovane, se vai a Roma che cosa ne sarà di te?" e allora rimasi là, ma in realtà sarei voluto andare subito a Roma, proprio perché avevo sentito quello che raccontava Corbino.

Certo era un peccato, perché lì c'era un bel momento, in fondo avresti colto una grossa occasione.

Sarei o naufragato o diventato celebre!

In pratica questa decisione di studiare fisica venne fuori dalla suggestione, dall'aver sentito Corbino; secondo quello che si racconta era molto espressivo, aveva un bel modo di esporre, no?

È vero. Ma poi questa attrazione fu dovuta anche al fatto che c'era un giornale culturale molto bello, di cui adesso non ricordo il titolo, a cui mio padre era abbonato; c'erano tanti argomenti interessanti e lì ci fu un articolo di Corbino che mi colpì.

Ma questo prima di aver sentito Corbino?

2. Sebastiano Sciuti

Sì, allora io feci un articoletto, da studente, e lo pubblicai.

Quindi, una volta letto questo articolo e poi sentita questa conferenza sei stato coinvolto.

È stato un colpo di fulmine

Perché a quell'epoca studiare fisica non era poi questa cosa così diffusa, no?

No, affatto.

Tuo padre come la prese, per esempio? Perché non tutti accettavano una scelta del genere! Non è che ci fosse una grande prospettiva. Per esempio Carlo Bernardini ha raccontato che suo padre gli disse: "Ma poi cosa vai a fare, l'insegnante di fisica?" Non era concepito come un discorso di ricerca.

Mio padre soffrì un po', perché era un neurologo celebre a Napoli, ma non mi disse niente; semplicemente non mi fece andare a Roma.

2.2 A lezione da Ettore Majorana

Chi insegnava fisica?

Antonio Carrelli, che faceva tutto: dalla fisica sperimentale alla fisica teorica, una cosa veramente assurda!

Quindi lui in pratica teneva vari corsi?

Sì, ma insomma, galoppando! Galoppando non in profondità, ma in superficie.

E la matematica?

Come preparazione matematica avevo dei bravi professori: Gaetano Scorza per l'analisi, poi Renato Caccioppoli, che diceva: "Sta fotografia gli è riuscita bene! Ma diamogli, 28 a 'sto Sciuti!" Era così.

Era un bravo insegnante?

Meraviglioso! Meraviglioso! Era ironico, e poi suonava divinamente!

Quindi sentivi di avere avuto una discreta formazione matematica?

Sì, diciamo che oltre a queste persone che ho nominato, c'era un certo... Andreoli, fascista, ma bravissimo, e poi Ernesto Pascal, per la matematica del primo anno. Invece Scorza teneva il corso di Geometria analitica.



Figura 2.1: Convegno Internazionale di Fisica Nucleare, Roma, Ottobre 1931. Da Sinistra: Werner Heisenberg, Michele Parravano, Niels Bohr, Peter Debye, Enrico Fermi, Giulio Racah e Orso Mario Corbino. Seminascosto dietro a Racah e appoggiato allo stipite dell'ingresso, Ettore Majorana.

Invece con Caccioppoli che tipo di programma avete svolto?

Una matematica superiore. Era un insegnante perfetto, diciamo ironico, di grande levatura.

Torniamo alla fisica...

Per la fisica c'era Carrelli.

E chi altro?

Carrelli primo, Carrelli secondo, Carrelli terzo... Non voleva nessuno quel fetentone, non voleva nessuno!

Come mai? Perché non faceva in modo da avere delle persone che lo supportassero? Alla fine doveva fare tutto lui. Come mai Majorana non gli dava fastidio? Forse perché Majorana era un teorico?

Ecco, non soltanto perché era molto teorico, ma era una persona riservatissima. La cosa che mi ricordo sempre di Majorana, l'unica cosa — a parte la sua bravura — è che stava con gli occhi bassi. Quando li apriva aveva certi occhi neri, da siciliano, ardenti! Ecco, nella mia ignoranza ricordo questi particolari.

2. Sebastiano Sciuti

Però lui con Carrelli aveva buoni rapporti, no?

Per carità! Carrelli se lo giocava. . . No, non dava fastidio! Lui poverino veniva, stava, andava in un alberghetto di fronte all'università di Napoli e poi se ne tornava a Roma.

Quindi si capisce perché lui lo avesse accettato. In fondo non gli faceva concorrenza.

Appunto! E poi. . . Poi lui, ci ha guadagnato in fin dei conti!

Cosa ricordi delle lezioni di Majorana?

Io posso dare principalmente delle impressioni, perché essendo della scuola di Carrelli le mie conoscenze a quell'epoca erano assolutamente modeste, per il fatto che Carrelli praticamente faceva tutto lui: la Fisica superiore, la Fisica sperimentale, la Fisica teorica. Faceva tutt'altro che la fisica moderna. Era una cara persona, veramente una cara persona, ma prettamente napoletano; geniale, ma nello stesso tempo, diciamo la verità, sfaticato! Io purtroppo debbo a lui qualcosa come dieci anni di ritardo nel mio sviluppo, che è avvenuto poi tutto a Roma. Allora, premesso questo, quando comparve nell'aula grande di fisica il professor Majorana per la sua lezione di inaugurazione, la cosa era piuttosto triste, in quanto c'erano soltanto una diecina di persone in un'aula enorme. Forse non lui non l'aveva immaginata proprio in questo modo, ma comunque vidi quest' uomo tutto vestito di blu, con l'aria così triste. Rimase un po' perplesso; evidentemente lui si aspettava qualche altra cosa. Dopo questo esordio nell'aula grande di Fisica sperimentale in via Tari, ci siamo trasferiti per le lezioni, per l'inizio del corso, in un'aula che era l'opposto dell'aula grande. Era chiamata aula di Fisica superiore e aula di Fisica teorica, si trovava a pian terreno e dava su uno spiazzo all'interno del cortile dell'Università. Io però ero già laureato – questo succedeva nel 1938 – ed ero estremamente desideroso di avere contatti con Roma perché quando io entrai all'università a 17 anni – avevo fatto il salto – chiesi a mio padre di andare a studiare a Roma. Infatti io decisi di fare fisica dopo aver sentito Corbino e Fermi in occasione di quello che allora era un vero Congresso, cioè il Congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze; allora era popolato da persone veramente degne, poi dopo decadde.

Chi frequentava il corso?

Innanzitutto c'era la Gilda Senatore, poi c'era Nella Altieri, Laura Mercogliano, che poveretta durante la guerra prese il tifo e morì; poi c'era Mario

Cutolo, che poi ha confermato l'effetto Lussemburgo. C'era anche Nadia Minghetti, molto gentile; poveretta anche lei non c'è più. Comunque erano anche loro, diciamo, terrorizzati. Tra l'altro dovevano fare l'esame perché erano un po' fuori corso. In effetti anche lui sembrava terrorizzato. Però non è completamente esatto dire questo, perché lui colloquiava con la lavagna, quindi ci ignorava abbastanza, però se qualcuno – e questo qualcuno in genere ero io; ero un po' rompiscatole perché non sapevo niente – faceva una domanda, lui si voltava e quegli occhi colpivano perché evidentemente era una persona che aveva dentro un fuoco, e questo fuoco si vedeva attraverso gli occhi. Io gli chiesi dove potevo studiare il corso che lui faceva, allora lui mi disse: “Guardi che io le darò gli appunti” – e infatti me ne dette qualcuno – “però se vuole vedere un libro in italiano molto bello, da poco tempo è uscito il libro di Persico” ed io praticamente seguii questo corso con alcune semplificazioni ed eventualmente alcune integrazioni. Quindi praticamente quello che lui ha fatto, furono i fondamenti della meccanica quantistica. Seguii poche lezioni, perché lui fece – adesso io non ricordo con precisione – una decina o forse addirittura cinque lezioni. Era un tipo effettivamente molto strano, con questi occhi però particolarmente interessanti. Quando si giudica una persona in effetti si guardano gli occhi. Fisicamente era piccolo, minuto aveva una voce piacevole, ma erano gli occhi quelli che colpivano più di qualunque cosa. Era molto, molto ritroso nel modo di partecipare alla vita dell'Istituto; ma questa vita dell'Istituto non lo interessava molto, perché si continuava a lavorare alla spettroscopia Raman, con sorgenti inadeguate, come si può immaginare; si lavorava con una spettroscopia dei cosiddetti “raggi restanti”, con pezzi di marmo comprati chissà dove eccetera, insomma si facevano tutte cose, diciamo... inadeguate. Nonostante il libro di “Totunno” sulla teoria dei quanti pubblicato dall'Accademia Vaticana... Io ho avuto una vita molto tribolata. Dai primi esami presi dei buoni voti senza sapere niente e Carrelli mi disse “Dodo” – perché conosceva la mia famiglia – “Dodo, tu devi fare l'allievo interno e prepararmi le lezioni”. In effetti il merito principale di Carrelli era quello che in Fisica sperimentale faceva sempre degli *show*, e allora il mio primo incarico era quello di accendere e spegnere la luce durante un corso di ottica. Lui mi diceva “Spegnere!” l'interruttore era del tipo *on-off* e io con grande baldanza lo abbassavo tutto, c'era un attimo di buio e poi c'era di nuovo la luce “Ho detto luce!” e poi dopo la lezione diceva “Guarda che io ti caccio, eh!” Allora interveniva Ciccio Cennamo “Non ti preoccupa’, lo dico

2. Sebastiano Sciuti

io a 'u mast'; lo dico io. Però vamm' accatta' un pacchetto di sigarette". In quegli anni questa era un po' la cosa. Tra la luce e le altre esperienze che riuscivano e non riuscivano e quello di acquistare le sigarette per Ciccio Cennamo... Poi il libro di Carrelli era scritto a mano, come accadeva all'epoca, e quindi al capitolo della terminologia c'era l'entropia e allora i colleghi mi domandavano: "Sciuti, ma che cos'è questa *eutropia*"? Dopo successe che Carrelli mi disse della lettera di Majorana, e se non sbaglio fui interrogato dalla polizia per sapere se avevo degli elementi da raccontare, perché ci fu un putiferio e la famiglia interessò Mussolini... Lui stava in un alberghetto proprio di fronte all'Istituto e praticamente dopo la lezione diceva due parole e se ne andava via. Cosa facesse...? Forse scriveva.

Ma come mai ti conosceva addirittura per nome?

Perché io mi ero presentato, e poi ero l'unico che ogni tanto gli chiedeva qualcosa, le poche volte che lo vedevo. Eravamo in cinque e io ero l'unico che chiedeva qualcosa, più che altro per curiosità e per coraggio, anche per questo, insomma. Mi diceva "Poi dopo può leggere qualche cosa", parlò di Heisenberg, cose di questo genere; però non è che mi disse di leggere subito quel libro, perché probabilmente si era reso conto della nostra ignoranza. Mi disse "Lei ha fatto fisica teorica, e che cosa ha fatto? E io: "I moti browniani"; era la cosa principale.

E poi quando lui scomparve chi prese il suo posto?

Ah, io. Io ero già laureato.

E sei venuto subito a Roma?

Magari! No, perché sono diventato assistente incaricato, con la somma veramente notevole di 600 lire al mese; era una cosa fantastica!

La tesi su cosa l'avevi fatta?

La tesi l'ho fatta sui "raggi restanti", che sono dei raggi che vengono selezionati attraverso la riflessione multipla di specchi di marmo. Marmo comune, pezzi di marmo qualsiasi, ma molto levigato. Allora sono i raggi restanti, perché la riflessione della luce non monocromatica, della luce con tutte le frequenze, viene selezionata da una riflessione preferita in una certa zona dello spettro, l'ultrarosso.

C'era anche un interesse pratico?

No, allora era di moda occuparsi anche di questa finestra di ultrarosso; infatti dovevo usare un termorivelatore, alla fine.

Avevi accennato a ricerche di tipo spettroscopico, spettri Raman...

Sì, ma erano cose piuttosto vecchie!

Perché Carrelli, come ricerca personale, di che cosa si occupava?

Di spettroscopia classica, appunto. Era allievo di Giovanni Cantoni, il quale era, diciamo, un fisico di fine '800.

Quando ti sei laureato?

Io mi sono laureato nel 1938.

Quindi quando seguivi le lezioni di Majorana ti stavi già laureando, cioè stavi già facendo la tesi?

Sì. Infatti io seguivo il corso di Majorana, avendo già fatto il corso di Fisica teorica, con Antonio Carrelli, un programma di una leggerezza!

Che cosa intendeva Carrelli per fisica teorica?

In parte era il programma di Fisica superiore – perché appunto insegnava anche Fisica superiore –, ma praticamente ho visto che tra Fisica superiore e Fisica teorica diceva le stesse cose.

E in fisica superiore che tipo di programma faceva?

Non me lo ricordo. Comunque era un corso alla buona.

Fatta la tesi, a quel punto come sono andate avanti le cose?

Ho avuto subito un posto di assistente incaricato da Carrelli, però poi, nel 1939, compivo l'età per fare il servizio militare e allora sono andato fuori, per la prima volta in vita mia, da solo. A Pavia! Pavia allora era una città bellissima! Piena di goliardia. Pavia adesso è morta, per carità! Ma allora no, allora sono entrato nel ruolo della persona che ha lasciato la famiglia, ma non da un punto di vista affettivo, da un punto di vista operativo, e ricordo il servizio militare come un piacere. Però, l'ho fatto nel 1939 e quando ero sottotenente del Genio scoppiò la guerra con la Germania, e poi nel 1940 l'Italia entrò in guerra, così rimasi sotto le armi e fui fortemente danneggiato fino al 1945.

Un lungo periodo! Negli anni così importanti, incredibile! Sapevi che Fermi era andato via, seguivi le vicende?

Sì, sì le seguivo.

Che diceva Carrelli?

Carrelli non faceva commenti. Carrelli faceva gli affari suoi, una persona

intelligente, un po' svogliatella, che compensava con questo spirito, nel modo caratteristico del napoletano, furbo ed intelligente.

Infatti Carlo Bernardini mi ha raccontato che quando lui andò ad insegnare a Napoli, Carrelli gli disse subito: "Eh, Bernardini, non credere che qua si fa come a Roma!" Nel senso che non bisognava muovere troppo le acque e darsi troppo da fare. . .

2.3 Le prime ricerche sui raggi cosmici

Come assistente guadagnavi 600 lire al mese; ma non era un po' troppo poco?

No! Io con quella facevo la bella vita perché mio padre era medico e non era interessato a quella somma. Con 600 lire si stava molto bene, poi ho dovuto fare il servizio militare a Pavia, dove mi resi conto per la prima volta della mia scarsa preparazione in fisica, nel senso che i periti industriali e gli ufficiali, le reclute e gli ufficiali in fatto di elettrotecnica ne sapevano molto più di me, quindi io facevo il dottorino. Ho fatto certe magre pazzesche! Mi sono accorto di questa superficialità, quando ero nel genio. Ho fatto il corso di allievo ufficiale e sono diventato allievo sottotenente, poi sottotenente e siccome ero laureato in fisica, prima che scoppiasse la guerra, per mia fortuna, sono stato assegnato all'Istituto Superiore per le comunicazioni che stava in viale Mazzini, esattamente nella palazzina dove c'è il cavallo, e quello fu un colpo molto importante perché venne a fare il servizio militare anche Oreste Piccioni insieme a quel bravissimo elettronico che era Franco Lepri. E allora incominciai proprio a misurare tutta la mia arretratezza. Divenni molto amico di Oreste, Oreste mi presentò a Gilberto Bernardini e poi conobbi Edoardo Amaldi.

A parte il fatto che, a proposito di Amaldi, c'era un episodio bellissimo, un vecchio episodio, e quando glielo raccontavo lui diventava rosso e diceva "No, non è vero! Non è vero!" La storia invece fu che io andai lì a Via Panisperna, da studente, per sentire Corbino – Amaldi non sapevo nemmeno chi fosse – e allora entrai in una bella aula grande con tanti studenti e mi misi o in prima o in seconda fila. Quando entrò un ragazzotto, io lo guardai, e non mi accorsi che tutti gli altri si alzavano. E allora lui mi disse "Lei per favore se ne vada!" Io non ebbi il coraggio di dire niente. Perché Edoardo evidentemente sostituiva Corbino e allora quando entrava Corbino si alzavano e così pure dovevano farlo con Edoardo. . . In realtà fino

a circa la metà degli anni '50 gli studenti si alzavano; lo facevano anche con me, quando facevo lezione.

Questo episodio di che anno era?

Sarà stato del 1936–1937. Ero venuto a Roma quando ancora si facevano le lezioni lì a via Panisperna, perché non era ancora pronta la nuova sede.

Ma poi tu hai cominciato con Gilberto a lavorare con i raggi cosmici?

Ho cominciato con Gilberto, che a quell'epoca faceva la spola tra Roma e Firenze.

2.4 Raggi cosmici in tempo di guerra

Nel 1938 ti sei laureato, poi hai fatto il servizio militare; quindi durante tutto il periodo della guerra sei rimasto tagliato fuori.

Purtroppo! Durante la guerra sono stato un imboscato, non perché ho trafficato molto, ma perché eravamo amici intimi di famiglia di un generale del Genio. Allora siccome ero laureato, una volta fatto il corso di allievi ufficiali di Pavia, praticamente andò a finire che mi assegnarono all'Istituto superiore delle trasmissioni, qui a Roma, che stava dove adesso c'è la RAI.

A viale Mazzini?

Sì, dove c'è il cavalluccio.

Ma lì c'era un altro edificio?

C'era un piccolo edificio; piccolo per modo di dire, anche se non era un grande laboratorio, c'era un grande spazio libero, con un'antenna a traliccio altissima, che non funzionava!

Che tipo di attività svolgevate lì?

Come attività era molto interessante, e poi c'erano anche Franco Lepri – era un grande esperto di elettronica – e Oreste Piccioni. Il mio Oreste. Ci volevamo così bene! E allora cominciai a capire un po' di fisica. Perché Oreste, che mi voleva bene, piano piano mi avviava; mi fece conoscere Gilberto Bernardini eccetera, un periodo di una bellezza unica! Ero proprio felice di aver fatto queste amicizie.

In che senso dici che ti ha fatto conoscere la fisica?

Mi ha introdotto nel mondo dell'Università di Roma: c'era Amaldi, che era tornato appena dall'Africa, poi c'era pure Cacciapuoti. Bernardo



Figura 2.2: Oreste Piccioni negli anni '30.

Nestore era una persona brillante! Perché infatti subito dopo la guerra fu nominato all'ambasciata di Parigi come esperto di scienze. E allora io andai a Parigi, non so per quale congresso, ed uscì fuori con una Mercedes, a quei tempi... Una Mercedes! Mi fece fare un lungo percorso, mi invitò anche a pranzo. Era una persona molto intelligente.

In quel periodo Cacciapuoti lavorava con Bernardini, e infatti hanno pubblicato un lavoro sulla misura dell'intensità della componente molle dei raggi cosmici a livello del mare, insieme a Ferretti, Piccioni e Wick.

Appunto. E la mia gioia – fu la mia fortuna – fu che Oreste Piccioni mi introdusse all'Università di Roma, dove c'erano Edoardo Amaldi e Bruno Ferretti.

Con queste persone che tipo di interazione avevi?

L'interazione era del tipo allievo e maestro: io il discepolo e Oreste il maestro. Amaldi era un divo, inavvicinabile, Bernardini era un po' più alla mano, quindi io cominciai a fare un "mea culpa" e a vedere che di fisica non sapevo niente. È stato proprio un periodo difficile, ma un po' alla volta... Non sono un fisico colto, io!

Questo recupero come è avvenuto? Attraverso un lavoro insieme oppure in modo indiretto?

Diciamo che è avvenuto più che altro attraverso discorsi e poi prati-

camente sono rimasto a Roma. I primi lavori di ricerca sono stati i raggi cosmici, con Italo Federico Quercia, una persona indimenticabile! Amico carissimo. Lui è stato sempre a Roma, praticamente, poi ha avuto la cattedra a Catania, come l'ho avuta anch'io, e però la povera Catania allora era rovinata, perché era un po' il posto di passaggio, di transito, poi dopo i catanesi si sono fermati e adesso se uno non riga dritto lo cacciano!

Che tipo di lavoro facevate con Quercia?

Abbiamo fatto la fisica dei mesoni al livello del mare, sotto terra e in alta quota. A livello del mare è ovvio, a Roma, sottoterra a Montorio sul Vomano, vicino Teramo, dove c'è una galleria di una centrale idroelettrica e allora io avevo montato un odoscopio che non finiva mai: quello rappresentava il punto sotto roccia, al livello del mare poi si andava all'altezza di Cervinia e in aereo. Ho fatto l'effetto positivo in quota insieme a Italo Federico Quercia e a Brunello Rispoli; con uno di quegli aerei residuati bellici lasciati dagli americani, che li consideravano da rottamare. Una paura tremenda... Ma era una ricerca bellissima, e io non l'ho mollata!

2.5 Il Laboratorio della Testa Grigia

Con chi lavoravi, oltre che con Italo Federico Quercia?

Quercia era mio coetaneo, un po' più giovane di me, poi lavoravo con Brunello Rispoli. Una volta fatta questa fotografia sull'aereo, ci fu l'impatto con Amaldi che in quel momento era molto interessato. Poi era stata lanciata la Testa Grigia, messa in piedi per merito, diciamo, di Bernardini ma in pratica da Ettore Pancini, che era una persona strana, scontrosa, molto autoritaria.

E con Amaldi?

L'impatto con Amaldi fu bellissimo, nel senso che mi assunse a 15 mila lire al mese – allora mi aiutavano un pochino da casa. Ho fatto prima dei lavori con Quercia e Rispoli e poi dei lavori con Amaldi in cui appunto c'erano i raggi cosmici sotto terra, a livello del mare e a 3500 metri. Io mi ricordo la capanna, all'Istituto di fisica di Roma, sulla terrazza. C'era un locale fatto in legno perché non si voleva che i raggi cosmici arrivassero senza essere un po' selezionati. Era la fisica povera! Che fortunatamente il Padre Eterno ci mandava gratis! Poi i contatori di Geiger ce li facevamo da soli. Da un punto di vista della fabbrica, l'esperto era Mario Ageno, c'era

2. Sebastiano Sciuti



Figura 2.3: In alto, da sinistra: Olindo Felici, ragazzo di laboratorio “scoperto” da Mario Ageno, Sebastiano Sciuti e Brunello Rispoli, nel dopoguerra.

tutta una stanza nell’Istituto di Fisica dove si fabbricavano questi contatori di Geiger. Una volta costruiti si mettevano sottovuoto; erano normali tubi di rame.

A quel tempo c’era anche questo Van de Graaff all’Istituto Superiore di Sanità.

Là si faceva la fisica dei neutroni, che interessava Amaldi. Amaldi fece col fido Ageno gli ultimi lavori di fisica dei neutroni, quando c’ero io, quindi nel 1945–1946, c’è un lungo lavoro di coinvolgimento. La sorgente dei neutroni era una sorgentina e la fisica dei neutroni era ancora tutta da sviluppare, era il periodo del dopoguerra, e i soldi non c’erano per pensare di fare una macchina e quindi tutti i paesi poveri si sono messi a fare i raggi cosmici. Perché poi si incominciò a sviluppare il programma della Testa Grigia, quindi i tre punti a 3500 metri, a terra e *underground* furono portatori di cose definitive per lo studio della radiazione cosmica.



Figura 2.4: Sebastiano Sciuti con la madre Cesarina Ghe, di fronte alla capanna di servizio del Laboratorio della Testa Grigia sul monte Cervino, nell'agosto del 1949.

Il laboratorio della Testa Grigia faceva convergere vari gruppi...

Nel Nord c'erano Giorgio Salvini, Antonino Mura, Guido Tagliaferri, Antonio Lovati. Poi c'era anche gente di Padova e il piccolo Fidecaro. E poi c'era il gruppo di Amaldi con Sciuti, Quercia, Brunello Rispoli.

Giuseppe Fidecaro era molto giovane e anche lui stava a Roma.

Fidecaro era bravissimo! Bravissimo, ma scontroso.

Loro avevano fatto un odoscopio con Amaldi...

Alla costruzione ci aveva lavorato anche Franco Mariani, che è professore di geofisica al CNR, poi in parte ci era entrato anche Lucio Mezzetti. Era una persona tanto cara, ma molto debole; si prese un esaurimento perché fu direttore a Frascati per un anno ed era un persona molto sensibile.

Questo strumento costruito da Amaldi, Fidecaro ecc., dove veniva utilizzato?

Veniva utilizzato a Roma.

E quando andaste sotto la galleria a Montorio al Vomano?

2. Sebastiano Sciuti

Là usammo un odoscopio fatto da me, da Rispoli e da Quercia. Lo avevamo costruito nel 1946. Anche in alta quota usammo un odoscopio, alla Testa Grigia.

Ma era lo stesso, oppure era adattato diversamente?

No, no era proprio un odoscopio con degli strati di piombo fatti in modo da eliminare qualche cosa, gli showers o i mesoni. . .

Chi lavorava stabilmente alla Testa Grigia?

Il capo era Pancini, poi c'era Bruno Brunelli, che si prese una bella bronchite.

Amaldi ha ricordato che lo scopo di quel periodo era lo studio dell'equilibrio tra le componenti elettronica e quella penetrante a vari altitudini sul livello del mare, che era proprio quello che stavi ricordando prima.

Sì, si cercava di selezionare le varie componenti, mettendo come parametro l'altezza, si cercava di isolare i primari. E poi c'era l'eccesso positivo della componente penetrante dei raggi cosmici, studiata a livello del mare. Si trattava poi di estendere le indagini ad alta quota montando un nuovo apparato su aerei residuati di guerra dell'aeronautica militare. Nel 1946–1947 il compito fu affidato da Gilberto Bernardini a Quercia, a Rispoli e a me. Quando la ricerca si concluse positivamente Bernardini lasciò a noi tutto il merito, perché non volle partecipare alle pubblicazioni che seguirono sul *Nuovo Cimento* e sul *Physical Review*, nonostante ci avesse costantemente seguito con consigli e incoraggiamenti. A quell'epoca eravamo in pieno dopoguerra, Bernardini si occupò di reperire fondi e strumentazioni per le ricerche quando Franco Lepri, un elettronico veramente geniale, lo avvertì che nei campi di residuati bellici (ARAR) degli alleati si trovavano grandi quantità di materiale elettronico di ogni tipo, compresi strumenti. I fondi disponibili all'Istituto Marconi erano infimi, troppo pochi per affrontare la spesa per l'acquisto. Così Bernardini e Amaldi riuscirono a convincere i vari Commissari degli alleati e le autorità italiane dell'importanza di consentirci di acquisire un po' di materiale occorrente per le ricerche. Per mesi Pancini, Lepri, Rispoli, io ed altri visitammo i principali campi ARAR in Campania e in Toscana caricando sui camion valvole termoioniche (tra cui le preziose 6Ak5), resistenze, condensatori, oscillografi e perfino radio rice-trasmittenti che furono poi preziose per i collegamenti tra il Laboratorio della Testa Grigia e l'Istituto di Fisica di Roma.

Fino a quando si è continuato a fare questo tipo di misure?

Fino agli “anni poveri”! E quindi, praticamente, quasi fino al 1960.

Naturalmente la strumentazione era più evoluta?

C'erano gli odoscopi, addirittura si fotografavano gli eventi. L'odoscopio di Geiger consentiva di lavorare un po' come una camera a nebbia con dei parametri però variabili, interessanti, e quando c'erano le coincidenze c'era un trigger che illuminava, era piuttosto ben fatto!

Il secondo campo di ricerca che ricorda Amaldi è lo studio dell'eccesso positivo nella componente penetrante per mezzo della deflessione magnetica in nuclei di ferro magnetizzato.

Era un altro tipo di attività studiato da Gian Carlo Wick teoricamente e realizzato da Pancini e poi da Quercia e da me e Rispoli. Noi portammo in aereo questo sistema a lenti magnetiche e la cosa bella fu che fino alla prima prova noi ingenuamente avevamo questa struttura di magneti, roba che pesava oltre 300–400 chili, ma una volta messa nell'aereo non avevamo progettato bene il sistema di stabilità, per cui praticamente ci fu il pericolo di sfasciare l'aereo e questa roba si danneggiò un po'. Il parametro era l'altezza, per la componente pura.

Poi avete ripreso i contatti con il Nord, perché prima eravate isolati.

Furono favoriti e facilitati dalle ricerche alla Testa Grigia, che era il punto di incontro in cui si lavorava insieme.

Con Amaldi avevate fatto gli esperimenti di produzione di stelle da componente penetrante.

Sì, con delle camere a ionizzazione e odoscopio. Era una cosa molto bella! Le camere a ionizzazione erano inventate per questi scopi da Rossi, la camera di ionizzazione veloce alla Rossi, e avevamo un bellissimo odoscopio con questi grossi tubi che sembravano dei geiger, ma non erano dei geiger perché erano proporzionali all'energia dissipata, e questo odoscopio lo portammo alla Testa Grigia.

Del famoso evento Faustina cosa ricordi? Tutta la storia dell'antiprotoni...

Ma chi lo dice?

Lo racconta Amaldi. A Roma avevate lo avete trovato nelle lastre. E intanto c'era Segrè che stava lavorando negli Stati Uniti e aveva a disposizione...

Le macchine!



Figura 2.5: Da sinistra: Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Enrico Fermi a Varenna, nel 1954 (Cortesia famiglia Polvani).

Segrè si comportò in un certo modo con Amaldi... C'era la querelle con Piccioni... Infatti, tra l'altro, si innesta in questa faccenda anche la rivendicazione di Piccioni che riguardava la sua priorità nell'impostazione dell'esperimento.

Io non me lo ricordo.

Non ricordi nulla di questa faccenda?

No! Ma poi Amaldi era molto discreto, nel senso che non raccontava quello che invece lui sapeva, non riferiva i pettegolezzi, parlava di fisica! Quando tornava dall'America era una festa per noi; lui aveva il suo libricino magico e noi andavamo pronti ad annotare sia le indicazioni bibliografiche, sia le nuove tecniche. Era un po' come la chiocciola con i pulcini, no? I raggi cosmici ci hanno salvato! Ci hanno salvato da un punto di vista di continuità scientifica!

Ho continuato con i raggi cosmici fino al 1956-1957. Dopo quella esperienza son passato con Amaldi e abbiamo fatto degli esperimenti sulla produzione di stelle e sulla componente penetrante, su alla Testa Grigia e poi alla centrale del Vomano, vicino a Teramo.

Sai che io ancora me lo ricordo, ero studente e venni a fare una gita su al Cervino; arrivai su e c'eravate solo tu e Lucio Mezzetti alla capanna. Mi feci un sacco di risate; poi arrivò Carlo Ballario, io ero timorosissimo, ero studente al secondo anno figurati! E tu in quel momento, nonostante le

cattive esperienze come elettrotecnico, eri un bravissimo elettronico, se mi ricordo bene...

No, non bravissimo! C'era Amaldi che portava dall'America lo schema del modello 100. Il modello 100 era un amplificatore che andava molto bene per le camere a ionizzazione proporzionali di Rossi e questo modello si sviluppava in lunghezza. Non era una scatola normale, ma si sviluppava così per evitare induzioni indesiderate. L'altra cosa diciamo piuttosto interessante erano le sottrazioni di materiale che facevamo ai campi ARAR. E c'erano un tipo di tetrodi, le prime valvole in miniatura che si trovavano in Italia e quindi potemmo fare la camera a ionizzazione, anzi le camere a ionizzazione, che vennero molto bene, perché allora l'officina era ottima. Era una fisica divertente anche grazie a tanti episodi divertenti, come quando Lepri disegnava i circuiti elettronici su un foglio di carta igienica...

Allora si facevano da soli gli oscillografi, si costruivano gli oscillografi in casa. Io ricordo ancora questo oscillografo pallinatore, che avevamo fatto con Gherardo Stoppini e Lucio Mezzetti, una macchina incredibile. Ma poi si facevano anche gli scherzi tra di noi. E nel frattempo tu camminavi per l'Istituto e sentivi "America-Italia a Yokohama! Chiama America-Yokohama e Honduras". Perché il collegamento con l'altra gente era per radio e gli urlì per farci sentire arrivavano dappertutto. C'era Pippo [Fidecaro] che era addetto alla radio, vero?

Nell'Istituto di Fisica, perché lui faceva le esperienze con Amaldi. Amaldi non dava grande confidenza, ma senza farsi accorgere lui spronava tutti, con pazienza. Il fatto di poter fare, per esempio, dei seminari. Anche a me inizialmente fecero fare un seminario, io mi sentivo morire. E invece molto gentilmente mi faceva delle domande; mi potevano stroncare, come in genere faceva invece Ferretti, che era tremendo! Insomma facevo delle gaffe paurose!

Oppure Emilio Segrè quando era di passaggio...

Beh, Ferretti in queste cose era incosciente, ma Segrè era cattivo!

Sì, era cattivo! Io mi ricordo che mentre facevo un seminario arrivò Emilio Segrè e dopo che ebbi finito di parlare mi disse "Scusa Bernardi"! Ma è roba pratica questa?". C'è un altro po' morivo lì sul posto... Secondo me è un delitto che la storia del dipartimento si stia perdendo, forse Amaldi in qualche modo ha fatto bene e ha sbagliato ad occuparsene troppo personalmente, doveva farsi degli eredi,

2. Sebastiano Sciuti

su queste ricostruzioni dei fatti. Sono importanti...

Ma lui ha scritto alcune cose.

Lui ha scritto moltissimo, però proprio perché tutti dicevano “Tanto ci pensa Edoardo!”. Poi nessun altro ha finito per occuparsene allo stesso modo, così che si perdono una quantità di notizie importanti... Tu hai detto “Amaldi insegnava, spronava senza apparire”. Ti ricordi che giorni fa io ti ho detto che io ho imparato da Amaldi a far venire le ‘mie’ idee agli altri!. Lo sapessi fare come lo sapeva fare Amaldi! Amaldi era un dispensatore di idee, e chi aveva imparato bene questa cosa di Amaldi era Touschek, che passava idee a tutti i suoi allievi, tutti lavoravamo come pazzi senza accorgersene... perché le idee erano quelle del maestro. Però era molto più bello avere l'impressione che l'idea fosse tua, e Amaldi in questo era veramente perfetto! Tu hai avuto rapporti con Fermi?

No! L'unico rapporto che ho avuto è stato quello di raccogliere una sua conferenza e quello di sbagliare le diapositive mettendole in tutte le combinazioni possibili ed essendo l'ultima quella buona!

Si! Ricordo ancora quando fece le lezioni, che poi tu che hai raccolto insieme con Pancini. Però lo stile di Amaldi subito dopo la guerra...

La cosa bella era quando Amaldi tornava dall'America, dai primi viaggi, la ripresa dei contatti; aveva il suo libricino dove c'era tutto e ne distribuiva un po' per ognuno; lo schema del modello 100, lo portò lui. A ognuno aveva portato per così dire un regalo che era utile...

Queste carte ci sono ancora?

Io ho tuttora il quaderno di Cervinia. È piuttosto ingenuo il librone, nel senso che era tutto “sporcato” da noi, e poi ogni tanto compariva Amaldi e si vedeva subito la differenza: c'era il lapis rosso, il lapis blu, c'era tutta una teoria di come si usava... Insomma io penso che effettivamente Amaldi meriti di essere ricordato in tutta la pienezza della sua attività, basta pensare anche quello che ha fatto per quanto riguarda il CERN.

2.6 Passaggio alla fisica nucleare

E dopo questa attività sui raggi cosmici di che cosa ti sei occupato?

Praticamente c'è stato un periodo di crisi personale, nel senso che non mi andava e né fui invitato a lavorare per il Sincrotrone; non so perché,

tra me e Salvini non c'è stato un grande *feeling* e allora Amaldi trovò la soluzione per Sciuti: prima di tutto mi fece mettere su una scuola di raggi cosmici, che si teneva nel retro dell'aula attualmente chiamata "Aula Amaldi", e poi mi segnalò a Francesco Giordani che mi conosceva e allora mi occupai di radioattività . . . Poi finalmente Amaldi li convinse ad acquistare un reattore ed io diventai il direttore del laboratorio di questo reattore, dove si distinse in particolare Antonio Paoletti con gli studi sul magnetismo da neutroni lenti polarizzati; il primo in Europa fu proprio lui a farlo.

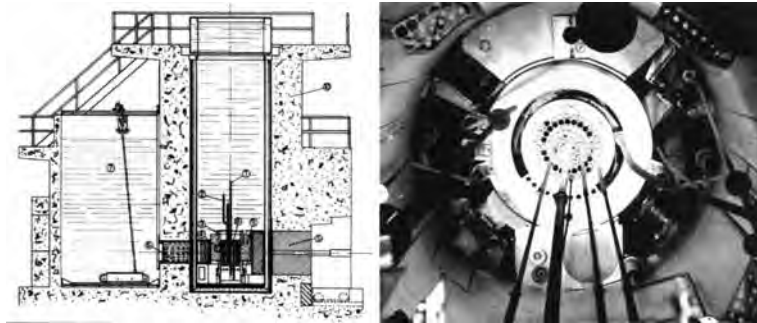


Figura 2.6: Schema del reattore della General Atomic (California) potenziato da 200 KW a 1 MW e completamente rinnovato nella sua struttura dal gruppo di Sebastiano Sciuti alla Casaccia (Antonio Paoletti, Giancarlo Focaccia, Luigi Di Paolo) e dotato di diversi canali di uscita dei neutroni per esperimenti in fisica nucleare e atomica. Il centro del reattore possedeva delle cavità appositamente sagomate per attivare campioni estraibili mediante un sistema pneumatico, il cosiddetto "Lazy Susan".

Anche io me la cavai bene, perché facevo fisica dei nuclei con reazioni indotte da neutroni o con reazioni indotte da gamma monocromatici ottenuti dalla cattura radiativa di una targhetta posta vicino al cuore di un reattore. La targhetta appunto diventava sorgente di raggi gamma monocromatici, che uscivano da un canale del reattore, e con questi raggi si faceva praticamente la fluorescenza di risonanza nucleare, che allora era parecchio di moda, e poi si studiavano livelli energetici. Quindi era l'unico laboratorio in Italia che facesse fisica dei nuclei e struttura della materia con un reattore nucleare.

Ma il reattore dove stava?

Il reattore sta tuttora alla Casaccia, e funziona; è proprio una cosa unica. Noi abbiamo fatto un *upgrading*: era a 200 Kilowatt termici e lo abbiamo portato a 1 Megawatt; c'erano molti canali, per lavorare all'esterno

2. Sebastiano Sciuti

e quindi forniva qualsiasi *facility* per studi con neutroni. Adesso questo reattore fa una cosa molto bella, prepara radioisotopi a vita breve per la medicina. Lì andarono in cattedra diverse persone: prima andai io, poi andarono Antonio Paoletti, Marino Giannini, poi Filippo Mensinger, Daniele Prosperi. . . Era proprio una scuola di fisica nucleare con neutroni che ad Amaldi piaceva molto, però non ha mai voluto partecipare; insomma ci lasciava completamente liberi.

Di che anni stiamo parlando, più o meno?

Dunque, il reattore divenne critico nel 1960 e poi dopo ci fu l'aumento di potenza, nel 1962–1963, una cosa simile. E vive tuttora. . .

Quindi al momento è stata un'idea rilevante. . .

Sì e no. Questo reattore nasceva come un reattore per la Scuola di perfezionamento, perché aveva appunto tante *facilities* che permettevano di fare diversi esperimenti, però era di bassa potenza. Era un reattore a piscina, molto piccolo, io invece volevo un reattore a piscina da 2 o 3 Megawatt e questo non fu possibile perché il buon Felice Ippolito pensava di spendere i soldi in altro modo. Insomma io credo che la mentalità dell'ENEA, dell'allora CNEN, era quella che i fisici invadevano un po' troppo. Si dovevano fare i reattori, che poi purtroppo neanche furono fatti, e quindi quelli che hanno lavorato veramente bene con i reattori sono stati Peppino Caglioti con i suoi collaboratori e poi noi, a Roma. Insomma, la fisica neutronica in Italia si era posta, diciamo così, sotto tono, tranne appunto, come dicevo, queste esperienze fatte da Antonio Paoletti, che erano molto buone.

E poi c'è stato Francesco Paolo Ricci. . .

Che lavorò con me e poi evidentemente si è adattato a questa situazione che in un certo senso dava anche fastidio all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e ha stabilito dei collegamenti con altri reattori. Poi ho abbandonato questo settore e mi sono dedicato all'archeometria, di nuovo un campo di ricerca applicata.

Mentre in Italia gli studi erano polarizzati sulla ricerca fondamentale, nel nostro laboratorio abbiamo fatto ricerche in cui il mezzo fisico serviva per ottenere risultati analitici di vario tipo, come la determinazione della composizione in elementi di oggetti vari. I metodi fisici applicati alle analisi non distruttive di materiali qualsiasi, sono particolarmente adatti per lo studio e la diagnostica di beni artistici di qualsiasi forma, dimensione ed epoca. In particolare ci hanno permesso di studiare gli affreschi della Cap-

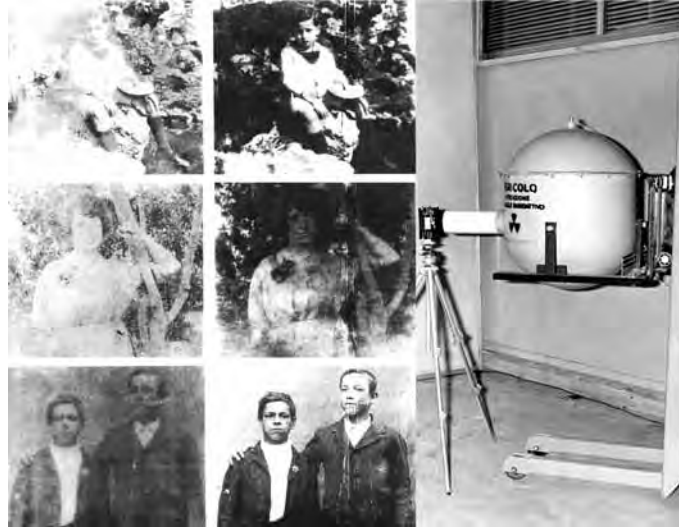


Figura 2.7: Confronto tra foto risalenti rispettivamente al 1933, al 1920 e al 1907 recuperate mediante irraggiamento con neutroni. L'argento presente nell'immagine fotografica originale con il tempo viene ricoperto da uno strato di ossido. Ponendo la foto su una lastra fotografica l'argento attivato con neutroni impressiona la nuova lastra, che, una volta sviluppata, restituisce in modo molto chiaro l'immagine contenuta nella lastra originaria. A destra, sorgente di neutroni, impianto costruito nel laboratorio di analisi non distruttive presso la sezione di fisica per ingegneria, diretta da Daniele Sette (Università di Roma "La Sapienza").

pella Sistina, quadri di grandi pittori come Caravaggio, Veronese, Raffaello, e così pure reperti archeologici e affreschi di epoca romana.

Quando hai cominciato a occuparti di archeometria?

Praticamente l'ho fatto quando da Catania – dove insegnavo Struttura della materia – sono passato a Roma alla facoltà di ingegneria per organizzare il corso di laurea in ingegneria nucleare.

In che anni sei stato a Catania?

Sono stato dal 1964 al 1967, i tre anni regolamentari.

E chi altro c'era?

Allora c'era Italo Federico Quercia, famoso per le cene a cui ti invitava, o per i biscotti savoiardi inzuppati ... anche nell'acqua: l'importante

Figura 2.8: Sebastiano Sciuti effettua l'analisi non distruttiva di un quadro di Caravaggio, "La chiromante", per mezzo di un fluorimetro portatile (spettrometro a fluorescenza di raggi X). A sinistra, schema dello spettrometro XRF: i raggi X della sorgente primaria, opportunamente collimati a formare un sottile fascio di radiazione, colpiscono il punto da analizzare ed eccitano gli atomi presenti provocando, per effetto fotoelettrico, l'estrazione di un elettrone da una delle orbite più vicine al nucleo. Gli atomi così eccitati ritornano immediatamente allo stato fondamentale emettendo radiazione X monocromatica di energia caratteristica dell'elemento coinvolto. È possibile analizzare qualsiasi materiale, purché sia presente in concentrazioni uguali o superiori al milligrammo. Gli spettri in basso sono stati ottenuti attraverso l'analisi XRF di un'opera di Michelangelo.

era che il savoiardo fosse ben umido, poi c'era Carmelo Milone, Emilio Agodi... Insomma, tanta bella gente!

Bibliografia

- [1] S. Sciuti, Sugli spettri ultrarossi di assorbimento e di emissione di alcuni ossidi alcalino terrosi, *Nuovo Cimento* 17, 227 (1940).
- [2] S. Sciuti, Su alcune misure di confronto tra due misuratori di campo elettromagnetico per onde ultracorte, *Bollettino Tecnico dell'Istituto Militare Superiore delle Trasmissioni* 3, 4, 95 (1941).
- [3] S. Sciuti, Tubi termoionici per altissime frequenze modulati in velocità, *Bollettino Tecnico dell'Istituto Militare Superiore delle Trasmissioni* 2, 85 (1942).
- [4] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, Sull'eccesso positivo della componente penetrante in alta quota, *Nuovo Cimento* 4, 283 (1947).
- [5] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, On the Positive Excess of the Penetrating Component at 17,000 Feet, *Phys. Rev.* 73, 516 (1948).
- [6] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, Sull'eccesso positivo della componente penetrante in alta quota, *Nuovo Cimento* 5, 397 (1948).
- [7] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, About the Positive Excess of the Hard Component of Cosmic Ray, *Phys. Rev.* 74, 1728 (1948).
- [8] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, On positive and negative excess of the penetrating component of Cosmic Radiation at 3500 m above sea level, *Nuovo Cimento* 7, 277 (1950).
- [9] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, On the Positive and Negative Excess of the Penetrating Component of Cosmic Radiation at 3500 m above Sea Level, *Phys. Rev.* 78, 824 (1950).
- [10] I. F. Quercia, B. Rispoli, S. Sciuti, Eccesso positivo e asimmetria Est-Ovest

- della radiazione penetrante tra il livello del mare e 7300 m s.l.m., *Nuovo Cimento* 7, 715 (1950).
- [11] C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, Sull'effetto barometrico negli sciami estesi atmosferici, *Nuovo Cimento* 7, 307 (1950).
- [12] E. Amaldi, C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, Contributo allo studio degli sciami estesi. Parte I, *Nuovo Cimento* 7, 401 (1950).
- [13] E. Amaldi, C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, Sull'effetto di transizione nel fenomeno di produzione di stelle da parte della radiazione cosmica, *Nuovo Cimento* 7, 697 (1950).
- [14] E. Amaldi, C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, Contributo allo studio degli sciami estesi. Parte II, *Nuovo Cimento* 7, 816 (1950).
- [15] E. Amaldi, C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, On the Interaction of Cosmic Rays with Matter under 50 Meters Water Equivalent, *Nuovo Cimento* 9, 453 (1952).
- [16] E. Amaldi, C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, On the Interaction of Cosmic Rays with Matter under 50 Meters Water Equivalent, *Nuovo Cimento* 9, 969 (1952).
- [17] C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, On the Associated Penetrating Particles Underground, *Nuovo Cimento* 10, 893 (1953).
- [18] E. Amaldi, C. Castagnoli, A. Gigli, S. Sciuti, An Anticoincidence Experiment on Cosmic Rays at a Depth of 50 Metres Water Equivalent, *Proc. Phys. Soc. A* 65, 556 (1952).
- [19] C. Castagnoli, A. Gigli, M. Zanda, S. Sciuti, Effetto barometrico sulla componente mesonica di altissima energia, INFN, Sezione di Roma; Istituto di Fisica dell'Università di Roma, Relazione Semestrale n 3, 15 luglio 1953.
- [20] P. E. Argan, A. Gigli, S. Sciuti, On the Interaction of μ -Mesons with Matter at High Energies, *Nuovo Cimento* 11, 530 (1954).
- [21] B. C. Owen, S. Sciuti, A. W. Wolfendale, The Large Angle Scattering of Mesons, *Nuovo Cimento*, Suppl. vol. 12, serie IX, 1, 153 (1954).
- [22] G. Caglioti, S. Sciuti, A. Gigli, On the Production of Secondary Electrons by High Energy μ Mesons, *Nuovo Cimento* 1, 851 (1955).
- [23] S. Sciuti, Preparazione del personale laureato e tecnico nel campo delle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare, *Il Giornale di Fisica* 1 (4) (1957).
- [24] D. Prospero, S. Sciuti, Su alcuni metodi radiometrici per la determinazione dell'Uranio e del Torio nei minerali, *Ricerca Scientifica* 28, 345 (1958).
- [25] D. Prospero, S. Sciuti, Branching Ratio of ThC (212Bi), *Nuovo Cimento* 9, 734 (1958).
- [26] D. Prospero, S. Sciuti, Precise Radiometric Determination of Uranium and Thorium Contents in Ores, A/Conf. 15/P1398 della *Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Ginevra, settembre 1958.

2. Sebastiano Sciuti

- [27] S. Sciuti, Experiment demonstrating the properties of slow neutrons, Ed. C.N.R. Rina (1958).
- [28] M. C. Ramorino, S. Sciuti, Su un laboratorio di Esercitazioni di tecniche nucleari, Corsi di Perfezionamento in Scienze Nucleari, C.N.R.N, GEN/39/58, Roma (1958).
- [29] S. Sciuti, Report on the Italian Program for Training of Personnel, *Symposium V 58*, European Atomic Energy Society, Delft (Giugno 1958).
- [30] Prosperi D., S. Sciuti, A Multi-Purpose 2π Counter, *Nuovo Cimento* 13, 769 (1959).
- [31] G. Cortini, S. Sciuti, *Misure ed apparecchiature di Fisica*, Litografia Marves Rina, IV ed. (1959).
- [32] S. Sciuti, *Rivelatori delle radiazioni nucleari*, Veschi, Roma (1960).
- [33] S. Sciuti, Apparecchiatura per analisi di minerali radioattivi col metodo $\gamma - \gamma - \beta$, *Studi e Ricerche della Divisione Geomineraria*, 1110 (1960).
- [34] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Investigation on the Decay Scheme of ThC (Bi^{212}), *Nuclear Physics* 19, 380 (1960).
- [35] D. Prosperi, M. C. Ramorino, S. Sciuti, Sulla Fluorescenza di Risonanza Nucleare, *Pubblicazione del Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari*, C.N.R. 29 Marzo (1960).
- [36] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Nuclear Resonance Fluorescence in Solid Co^{60} Sources, *Nuovo Cimento* 22, 1197 (1961).
- [37] M. Marseguerra, F. Marsili, S. Sciuti, Su alcune modifiche apportate al reattore RC 1, Centro di Studi Nucleari della CASACCIA Laboratorio di Fisica Nucleare Applicata, Agosto 196, Serie Ingegneria e Tecnologia, CNEN 112.
- [38] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Decay Scheme of Pb^{212} , *Nuovo Cimento*, 21, 430 (1961).
- [39] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Spin and Parities of Excited Levels in Po^{212} , *Nuovo Cimento* 22, 31 (1961).
- [40] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Decay Scheme of Pb^{211} , *Nuovo Cimento* 25, 1227 (1962).
- [41] S. Sciuti *et al.*, Pile Neutron Research Progress at the Centro Nucleare della Casaccia, *Pile Neutron Research in Physics*, International Atomic Energy Agency, Vienna 1962.
- [42] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Intensity Measurements of Alpha Groups from Bi^{211} , Po^{211} , Rn^{21} and Ra^{223} by Means of Solid State Counter Techniques, *Nuovo Cimento* 25, 1314 (1962).
- [43] S. Sciuti *et al.* Alcune misure sull'effetto Mossbauer (in coll.). CNEN, RTI/FI (62) 2, luglio 1962
- [44] S. Sciuti *et al.*, Studio dei livelli nucleari mediante processi di cattura radioattivi, Nota interna n3 dell'AFA luglio 1962, presentata al Congresso della S.I.F. (Bologna, sett. 1962).

- [45] S. Sciuti, Rivelatori delle radiazioni nucleari (Corso per Periti Nucleari), CNEN 1962.
- [46] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Soft Gamma Rays from Thermal Neutron Capture in Ho, Tm, Lu/I, *Nuovo Cimento* 27, 538 (1963).
- [47] M. Giannini, D. Prosperi, S. Sciuti, Soft Gamma Rays from Thermal Neutron Capture in Tb, Er, Yb and Ta II, *Nuovo Cimento* 27, 1032 (1963).
- [48] M. Giannini, G. Pinto, D. Prosperi, S. Sciuti, Soft Gamma Rays from Thermal Neutron Capture in La, Pr, Nd, Hf, W, Os III, Doc. LAPA (63) 6, maggio 1963.
- [49] D. Prosperi, S. Sciuti, Possibili impieghi del nuovo canale verticale del reattore RC1, Risultati preliminari sulla produzione e uso di raggi gamma monocromatici, Doc. LAPA (63) 7, maggio 1963.
- [50] M. Giannini, P. Nunberg, D. Prosperi, S. Sciuti, Possibilità di impiego di gamma monocromatici in esperienze di assorbimento e diffusione risonante, Doc. LAPA (63) 5, maggio 1963.
- [51] D. Prosperi, S. Sciuti, Ricerche di Fisica dei Nuclei con raggi gamma quasi monocromatici, *Suppl. al Nuovo Cimento* 4, serie 1, Vol. 5, 1265 (1967).
- [52] M. Diana, L. Di Palo, M. Giannini, F. Frazzoli, M. C. Ramorino, S. Sciuti, Impiego di Neutroni in Esami Radiografici, *Notiziario C.N.E.N.*, N 4, Aprile 1969.
- [53] S. Sciuti, F. Sabatini, A. Festinesi, Su alcuni impieghi di traccianti stabili evidenziati mediante attivazione neutronica (NAA), *Notiziario del CNEN* n.1, 30 (1979).
- [54] S. Sciuti, L'archeometria: stato attuale e prospettive future, *Atti dell'Accademia Gioenia di Catania*, 1982.
- [55] S. Sciuti, Archeometria, dieci anni dopo: deduzioni e prospettive, *Accademia Nazionale dei Lincei*, N. 69 del Centro Linceo Interdisciplinare di Scienze Matematiche e loro applicazioni, *Giornata di Studio sul tema Archeometria e Scienze esatte per lo studio dei Beni Culturali*, Roma, 1985.
- [56] G. E. Gigante, C. Maltese, S. Rinaldi, S. Sciuti, In Situ ND Analyses of XVI and XVII Centuries Italian Paintings, *Proceedings of Heidelberg International Conference Archaeometry 90*.
- [57] C. Maltese, S. Sciuti, G. E. Gigante, S. Marconi, S. Rinaldi, *Spurio, autentico, copia. Una metodologia integrata d'indagine su undici opere caravaggesche*, Bagatto, Roma (1991).
- [58] S. Sciuti, G. Suber, Nuclear and Atomic Physic in Art Research and Diagnostic, *La Rivista del Nuovo Cimento* 14 (7) (1991).
- [59] S. Sciuti *et al.*, Analisi di elementi in tracce con sistemi on line di tipo non distruttivo: apparato SIXRF di Adone, Frascati, *Il Nuovo Saggiatore* 7, 46 (1991).
- [60] S. Sciuti, G. Sangiovanni, C. E. Gigante, S. Rinaldi, Sistema mobile multifunzionale per analisi ND e per imaging digitale di opere d'arte, *Atti della 111 Conferenza Internazionale sulle prove ND per lo studio e la conservazione delle opere d'arte*, Vol I, 471 Viterbo (1992).
- [61] S. S. Sciuti, C. Falcucci, S. Rinaldi, ND analysis of colour pigments and

2. Sebastiano Sciuti

preparation layers in ancient mural, wood, canvas and parchment paintings, *4th International Conference Nondestructive Testing of Works of Art*, Berlino, 3–8 ottobre 1994, 303 (1994).

[62] S. Sciuti, C. Falcucci, On site Archaeometric research and diagnostic carried out by a transportable multipurpose work station, *Science and Technology for Cultural Heritage* 3, 123 (1994).

[63] S. Sciuti, N. Gabrielli, Tecniche di analisi e di osservazioni, finalizzate al restauro di dipinti antichi, in *La diffusione in Italia delle metodologie scientifiche per lo studio e la conservazione delle opere d'arte*, Contributi del Centro Linceo interdisciplinare B. Segre, N. 91, 7, Roma (1995).

[64] S. Sciuti, G. E. Gigante, S. Rinaldi, A. Culla, C. Falcucci, Analisi ND eseguite su dipinti del Caravaggio esposti in Palazzo Ruspoli Roma, in *Come dipingeva Caravaggio*, 69, edizioni Electa, Milano (1996).

[65] S. Sciuti, C. Falcucci, in *Mistero di una fanciulla, ori e gioielli della Roma di Marco Aurelio da una nuova scoperta archeologica*, a cura di A. Bedini, Skira Ed., Roma (1996).

[66] S. Sciuti (a cura di), *Notes on Archaeometry*, Bagatto Libri, Roma (1996).

[67] S. Sciuti, Stato attuale e prospettive future delle metodiche fisiche ed informatiche applicate allo studio ed alla diagnostica dei beni artistici, in *La Scienza per i beni culturali*, Atti del 64 Congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze, 139, Roma (1997).

[68] G. Fronterotta, S. Sciuti, M. Vendittelli, Non Destructive Analysis through X-ray Fluorescence of Roman Mural Paintings in “Museo Nazionale Romano – Palazzo Massimo”, “Art ‘99”, 6^o *International Conference for the diagnostic and conservation of the Cultural and Environmental Heritage*, 257, Vol. 1, Roma (1999).

[69] C. Falcucci, S. Sciuti, Analisi non distruttive di elementi chimici eseguite sull'affresco del Giudizio Universale, in *Michelangelo e la Cappella Sistina*, Vol. I Ricerche Scientifiche, 303, Musei Vaticani e Istituto Geografico De Agostini Editori (1999).

[70] S. Sciuti, Trenta anni di Archeometria, *Congresso nazionale di Archeometria dell'AIA* (Associazione Italiana di Archeometria), 13, Verona (1999).

[71] A. Longoni, C. Fiorini, S. Sciuti *et al.*, Works of Art investigation with silicon drift detectors, *Nuclear Instruments & Methods In Physical Research A* 439, 458 (2000).

[72] S. Sciuti, L'Archeometria e la salvaguardia del patrimonio artistico, *Il Nuovo Saggiatore* 16 (5–6), 23 (2000).

[73] S. Sciuti, G. Fronterotta, M. Vendittelli, A. Longoni, C. Fiorini, Non destructive analyses for the study of a roman mural painting recently discovered, *Studies in Conservation* 46, 132 (2001).

[74] S. Sciuti, C. Nicolais, M. Vendittelli, Microelectronics and Optoelectronics

- Applied to Cultural Heritage: a Short Survey, in *Microelectronics and Cultural Heritage*, Workshop, Firenze, 19 marzo 2001, 7 (2001).
- [75] M. Piacentini, S. Sciuti (a cura di), Atti del Convegno Internazionale *Archaeometry in Europe in the Third Millennium*, contributi del Centro Linceo Interdisciplinare Beniamino Segre, Vol. 105, Accademia Nazionale dei Lincei (2002).
- [76] A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, G. Paternoster, M. Piacentini, S. Sciuti, Archaeometric study on Roman glazed pottery, 33rd International Symposium on Archaeometry, 22–26 aprile 2002.
- [77] A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, G. Paternoster, M. Piacentini, R. Rinzivillo, S. Sciuti, M. Vendittelli, I dipinti murali romani: il Palazzo di Augusto al Palatino, LXXXVIII Congresso Nazionale Società Italiana di Fisica, 26 settembre–1 ottobre 2002, 109.
- [78] A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, M. Piacentini, S. Sciuti, M. Vendittelli, Gli affreschi di Padre Andrea Pozzo al Collegio della Trinità dei Monti, LXXXVIII Congresso Società Italiana di Fisica, 26 settembre–1 ottobre 2002, 108.
- [79] L. Ambrosini, G. Bandini, A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, M. Piacentini, S. Sciuti, M. Vendittelli, Analisi XRF di due urne cinerarie, *Studi Etruschi* LXIX, 77 (2003).
- [80] A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, M. Piacentini, S. Sciuti, M. Vendittelli, Studi archeometrici dei dipinti murali di epoca neroniana di Murecine, LXXXIX Congresso Società Italiana di Fisica, 17–22 settembre 2003, 72.
- [81] E. Castellucci, A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, G. Paternoster, M. Piacentini, R. Rinzivillo, S. Sciuti, M. Vendittelli, E. Zuppi, Realizzazione di un apparato portatile per micro XRF e studio stratigrafico di dipinti murali di epoca romana, LXXXIX Congresso Società Italiana di Fisica, settembre 2003, 226.
- [82] A. C. Felici, G. Fronterotta, C. Nicolais, M. Piacentini, S. Sciuti, M. Vendittelli, C. Vazio, The wall paintings in the former refectory of the Trinità dei Monti Convent in Rome: relating observations from restoration and archaeometric analyses to Andrea Pozzo's own treatise on the art of mural painting, *Journal of Cultural Heritage* 5, 17 (2004).

Capitolo 3

Giulio Cortini

Giulio Cortini è nato a Roma il 1° dicembre 1918. Nel 1942 si è laureato in Fisica, con lode, all'Università di Roma. Giovanissimo, prese parte alla Resistenza militando nei Gruppi di Azione Partigiana e costruendo ordigni esplosivi durante l'occupazione tedesca a Roma, dove venne arrestato nel 1943 per cospirazione.

Assistente volontario a Roma nel 1944, incaricato nel 1946, di ruolo nel 1949, fin dall'inizio della sua attività di ricerca fece parte di un gruppo di ricerca diretto da Gilberto Bernardini che studiò le evaporazioni nucleari prodotte dai raggi cosmici con la tecnica delle emulsioni nucleari, allora nuova per Roma. Trascorse un anno come ricercatore a Bruxelles lavorando allo studio della componente molle della radiazione cosmica con Giuseppe Occhialini, che si trovava là a partire dall'estate del 1948.

Nel 1951 prese la libera docenza e continuò ad lavorare alle ricerche sui raggi cosmici con il gruppo di Edoardo Amaldi, Giustina Baroni, Carlo Castagnoli e Augusta Manfredini. Nel 1953 il gruppo studiò un evento che si poteva interpretare come l'annichilazione di un protone con un antiprotone. In quella occasione Cortini sviluppò una nuova tecnica per la misura dell'energia di particelle ionizzanti veloci. In quel periodo furono ottenuti risultati rilevanti sulle particelle "strane" prodotte dai raggi cosmici. In particolare fu data la prima dimostrazione che i prodotti dei cosiddetti "mesoni tau" sono tre pioni. Un lavoro sui getti è considerato ancora oggi il punto di partenza per considerazioni sulle interazioni nucleone-nucleone ad altissima energia.

Nel 1956 Cortini divenne professore straordinario di Fisica superiore a Messina e passò a Catania l'anno successivo. Trascorse un lungo periodo a Napoli, sulla cattedra di Fisica superiore prima e Fisica Generale poi, promuovendo lo sviluppo della Fisica nucleare, in particolare seguendo da vicino la realizzazione e l'atti-

vità di un laboratorio finanziato dall'INFN per la preparazione e lo sviluppo di emulsioni nucleari esposte a fasci di acceleratori.

A partire dal 1962 cominciò a manifestare interesse per le ricerche didattiche, che dal 1969 in poi divennero il suo principale campo di ricerca. Numerose pubblicazioni sull'insegnamento della relatività ristretta e generale culminarono, le prime, in un grosso esperimento svolto per iniziativa di Cortini sotto l'egida della Società Italiana di Fisica, al quale parteciparono gruppi di docenti e di insegnanti di Torino, Bologna, Roma, Napoli e Palermo. Esso costituì il primo tentativo di collegare tra loro, in una collaborazione interuniversitaria, gruppi di ricerca didattica di diverse sedi universitarie allo scopo di introdurre l'insegnamento di un ramo importante della fisica moderna nella scuola secondaria. Quella collaborazione fu il seme da cui si sviluppò in seguito il Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica del CNR. I suoi risultati furono pubblicati sotto il nome "Iniziativa Relatività", in un quaderno del *Giornale di Fisica*. Tra il 1965 e il 1974 Cortini organizzò a Napoli il *Seminario Didattico*, che venne riconosciuto come Istituto, dalla Facoltà di Scienze.

Nel 1974 fu chiamato a Roma, dove insegnò Complementi di Fisica generale, e dove ha poi organizzato e diretto il *Raggruppamento Didattico* della Facoltà di Scienze MFN, denominato successivamente *Laboratorio di Didattica delle Scienze*. La creazione di questi organismi universitari aveva lo scopo di avviare e svolgere ricerche sulla didattica delle Scienze soprattutto (ma non esclusivamente), al livello di scuola secondaria, di contribuire alla qualificazione degli insegnanti di discipline scientifiche e di costituire dei punti di riferimento istituzionali entro l'Università per tutti quegli Enti che sono interessati all'insegnamento delle Scienze nella scuola italiana.

Dopo il suo pensionamento Cortini fu nominato Professore Emerito presso la Facoltà di Scienze MFN dell'Università di Roma "La Sapienza".¹

Ha pubblicato diversi manuali per l'università, tra cui il libro *Misure e Apparecchi di fisica* scritto in collaborazione con Sebastiano Sciuti. Ha diretto la collana "Argomenti di scienze" per l'editore Loescher e ha pubblicato numerosi volumi di interesse didattico, tra cui *La Relatività ristretta* (Loescher 1978), *Fisica e Matematica con il Calcolatore Tascabile*, con Margherita Fasano (Loescher 1980), ha curato le raccolte di saggi *Le trame concettuali delle discipline scientifiche* (La Nuova Italia 1985), *Informatica e Scuola* (La Nuova Italia 1988), *Incontrare la scienza* (La Nuova Italia 1990).

È morto a Roma il 29 maggio 2006.

¹Per ulteriori notizie biografiche si veda il "Ricordo di Giulio Cortini" a cura di F. Guerra e B. Preziosi, pubblicato sul *Nuovo Saggiatore* [vol. 22 (3-4) pp. 36-38].



Figura 3.1: Giulio Cortini nel 1949 (Cortesía Franca Magistrelli).

3.1 La famiglia e gli studi a Roma

*Professor Cortini, lei è d'accordo se registriamo alcuni suoi ricordi?*²

Ma certo!

Dove è nato?

Sono nato a Roma, il 1° dicembre del 1918, cioè ho 86 anni.

Ha qualche ricordo che risale ai suoi anni di scuola? Quando si sono manifestati i suoi interessi per la scienza?

La mia professoressa di matematica, si chiamava Casanova, era una donna di grande intelligenza, di grande efficienza, brava! Lei si rese subito conto che io la matematica la capivo.

E con la fisica?

Lei era anche insegnante di fisica

Quindi già dalla scuola si sono evidenziate la passione per la fisica e per la matematica.

Sì. Poi mi sono iscritto al corso di laurea in fisica

A quell'epoca non era una scelta così comune.

²Colloquio avvenuto nell'abitazione di Giulio Cortini il 21 settembre 2005. In questa occasione Cortini mi ha consegnato due *file* contenenti ricordi personali che, d'accordo con lui, ho inserito nella trascrizione della registrazione rileggendo insieme la versione finale.

Era una scelta che nessuno capiva; dicevano: “Ma che cos’è fisica?” Oppure: “Ma è chimica?”.

Soprattutto si considerava una professione legata all’insegnamento, non al concetto di ricerca.

Esattamente!

I suoi genitori come hanno accolto questa decisione?

I miei genitori mi hanno lasciato tranquillo.

Suo padre che tipo di attività svolgeva?

Mio padre era avvocato; era bravo, bravissimo! Era un uomo di grande, grandissimo valore, e in fondo io l’ho deluso, perché lui aveva uno studio legale, e io avrei potuto rilevarlo.

E sua madre?

Mi lasciava tranquillo...

Quindi lei si è iscritto a fisica a Roma in che anno?

Oh dio! Deve essere stato negli anni Trenta.

Che cosa ha trovato lì? Quali erano gli insegnanti?

C’era Amaldi; era un grande! Amaldi è stato veramente un grande! Un grandissimo!

Quanti studenti eravate quando lei si è iscritto?

Tre!

Si ricorda chi erano le altre persone?

C’era Francesca Bachelet, che poi è diventata professore, poi c’erano le sorelle Zevi, una era Maria e l’altra era Giuseppina, una specie di appendice della sorella. Poi c’era Lucio Mezzetti, bravissimo! C’era Ettore Pancini...

Come erano organizzati i corsi? Eravate talmente pochi!

Ricordo le lezioni di Nestore Cacciapuoti; fece un corso di Fisica superiore, era una gestione familiare.

Che tipo di argomenti venivano trattati a quell’epoca nel corso di Fisica superiore?

Si insegnava spettroscopia, essenzialmente.

E Amaldi che cosa insegnava?

Amaldi faceva il corso di Fisica generale e poi faceva un corso superiore, un corso sui neutroni; era il suo mestiere!

3. Giulio Cortini

E Pancini?

Pancini comparve a un certo punto, perché lui era a Padova, però voleva venire a Roma, venne a studiare a Roma con Amaldi. . . ed era un genio.

Cosa ricorda dei corsi di matematica?

Mi ricordo il corso di Meccanica razionale; noiosissimo! Io in tutta l'università ricordo due corsi veramente divertenti e che mi affascinarono molto: quello di Giuseppe Armellini, era un bravissimo professore, divertente, spiritoso, e il corso di Analisi di Francesco Severi, che faceva delle esposizioni bellissime.

3.2 La laurea e gli anni della guerra

Che tipo di tesi fece?

Feci la tesi con Gian Carlo Wick; teneva un corso di Fisica teorica.

Cosa intendeva Wick per fisica teorica? Si trattava di meccanica quantistica?

Sì, era un corso abbastanza tosto! Quella era un'epoca in cui la meccanica quantistica non era ancora ben consolidata e quindi ci si arrampicava sugli specchi.

Quale testo vi faceva utilizzare?

Le sue dispense.

Che tipo di insegnante era?

Bravo!

Quindi lei in fondo era attratto più dalla fisica teorica. . .

Sì. Con Wick feci una tesi orale, come avveniva all'epoca. . .

Cosa significava tesi orale?

Prima studiai un libro e poi sostenni una specie di esame.

Tutti voi facevate in quel momento questo tipo di tesi?

No, perché Lucio Mezzetti, per esempio, fece una bella tesi scritta.

Come mai nel suo caso Wick scelse questa soluzione?

Perché io ero militare, e quindi ebbi questa facilitazione.

Quando si è laureato?

Nel 1942, da sottotenente. Mi diedero la lode per la mia media alta, perché non avevo fatto esami nella sessione “incriminata” (quella del 18 obbligatorio) e per l’appoggio di Armellini, impressionato dalla chiarezza che avevo dimostrato nel riferire un difficile discorso di Poincaré. Così fin da allora, ma del resto già nel corso di esami, mi giovò la mia capacità didattica. Una volta Ferretti mi disse che c’erano delle persone che riuscivano a esporre con chiarezza anche argomenti che non avevano capito bene.

A questo punto siamo in un periodo molto turbolento!

Sì, infatti poi mi hanno arrestato! Già da giovanotto cominciai a cospirare contro il regime di Mussolini. Mi avevano affidato il soccorso rosso a Roma. Non che fossi molto bravo, né che mi esponessi molto. Il gruppo a cui mi ero legato era quello dei comunisti cattolici (Adele Bei li aveva battezzati i “cannibali vegetariani”), guidati da Franco Rodano e Adriano Ossicini. Il nostro maggior successo fu la stampa di un giornaleto monopagina, formato francobollo, dal nome simbolico “Pugno Chiuso”. Subito dopo la sua uscita clandestina ci fu una bufera di arresti. Caddero Franco Rodano, Lucio Lombardo Radice e parecchi altri. La tempesta si avvicinò a me il 21 maggio 1943, durante un tranquillo pranzo in famiglia.

Nella grande stanza da pranzo di Via del Gelsomino, stavamo andando a tavola. C’erano papà, mamma, Liana, io. E avevamo un ospite: Vittoria Giunti.

Arriva una scampanellata. La donna viene ad annunciare che c’è un signore che mi vuole parlare. Vado alla porta e quando l’apro entrano cinque o sei poliziotti in borghese che cominciano a perlustrare la casa. Vittoria li vede, capisce al volo, si alza e senza dire verbo si dirige verso l’altra scala e va via.

I poliziotti esplorano la casa e ci domandano, insistendo, se c’è un’altra persona. Tutti neghiamo e loro, che si accorgono di aver fatto una pessima figura, non insistono. Io dovevo andare in bagno e lo dico a uno dei poliziotti: “farò la cacca in sua presenza”. La mamma era coperta di macchie rosse per la pena e la preoccupazione.

Papà mi dà un foglio da 500 lire che mi sarà utile. Scendo circondato dai guardiani dell’ordine e entriamo in una macchina scoperta con una cappotta. La loro presenza mi infastidisce e mi turba.

Mi sbarcano alla Questura Centrale a Via Santo Stefano del Cacco e mi lasciano seduto in un ufficio con un guardiano che mi controlla.

Passano alcune ore. Alla fine mi interroga il famoso Domenico Rotonda-

3. Giulio Cortini

no, Capo dell'Ufficio politico fascista. Mi contesta alcune passeggiate che avevo fatto insieme a compagni, in particolare una a Montesacro, insieme a Adriano Ossicini. C'eravamo fermati a sedere su una scaletta, sicurissimi di non essere osservati. E invece sapevano tutto.

Mi limito a fare il finto tonto.

Al momento di andare via, verso sera, devo firmare una carta e mi ammannettano a un altro compagno bloccando la mano sinistra in maniera che la destra mi resta libera. Non diciamo una parola e così entro a Regina Coeli. In quel momento ero pronto a tutto.

E fu una fortuna perché mi misero a dormire, per mancanza di spazio, in una cella di rigore.

Circondato da mura altissime, senza una finestra, prendeva luce da un alto lucernaio e sul pagliericcio mi addormentai presto ma, mi svegliai poco dopo per l'assalto delle cimici. La mattina mi portarono in una cella normale che avevano sgomberato dai precedenti occupanti. Era una stanza più o meno di tipo ordinario, a parte il fatto che la finestra era coperta da una persiana rivolta verso l'alto in modo che risultava impossibile guardare all'esterno. Per i bisogni personali c'era un grosso vaso che cambiavano una volta al giorno.

Restai a Regina Coeli un paio di mesi e mi ricordo bene come avvenne la mia liberazione.

Una notte fui svegliato da un rumore di mare in tempesta.

Nel dormiveglia mi scoprii a domandarmi se sotto la prigione c'era il mare e ben presto capii che quel rumore era dovuto a tante persone che gridavano contro la prigione fascista: era caduto Mussolini, la gente urlava contro il regime e chiedeva la liberazione dei detenuti.

A farla breve, fui liberato due giorni dopo. Sulla soglia trovai papà che leggeva il giornale e volle parlare per telefono con casa per non produrre una sorpresa troppo forte al mio arrivo.

Chiesi subito di fare il bagno. Le donne di casa, la mamma e Liana, non potevano aspettare e, per la prima (e unica) volta in vita mia, feci il bagno in loro presenza.

Subito dopo la prigionia aderii al Partito Comunista Italiano.

Ero, naturalmente, un compagno di base, ma i capi della resistenza romana, tra cui Carlo Salinari e Antonello Trombadori, che conoscevo da tempo, pensarono che, essendo laureato in fisica, ero adatto a fare la parte dell'artificiere. Ma ero un neofita, di quelli con tre narici. Non potevo certo mettere

in discussione gli ordini del Partito. Nella mia totale ignoranza, comperai un manuale Hoepli intitolato “Le mine”, lo studiai coscienziosamente e mi accinsi a obbedire all’ordine del partito.

Scambiando discorsi con amici chimici, imparai un po’ di cose: che era facile ottenere che certe miscele facessero delle belle fiammate, e così via. Inoltre, utilizzando le mie basi culturali fabbricai un paio di *timer* artigianali, il cui elemento fondamentale era un orologio dozzinale, da cui avevo strappato la lancetta dei minuti.

Ebbi presto la collaborazione di due compagni bravissimi, Giorgio Labò e Gianfranco Mattei, che purtroppo dopo qualche mese furono arrestati e assassinati dai fascisti.

La prima azione concreta la feci quando ancora ero solo, facendo esplodere una granata di artiglieria residua dagli scontri di Porta S. Paolo. Qualcuno aveva segnalato l’esistenza di quella granata inesplosa. Assieme a un compagno che mi aveva presentato Trombadori, andammo a vedere.

Trovammo la granata rimasta in un’aiuola vicina alle Mura Aureliane. Decidemmo di tornare l’indomani mattina presto (con poca gente tra i piedi) a raccattare l’oggetto. Io sapevo che a casa di mio suocero doveva esserci una sacca portaombrelli che sembrava fatta apposta per infiltrarci un grosso cilindro pesante: c’era anche un manico per facilitare il trasporto. Ci allontanammo chiacchierando. Quel compagno aveva fatto l’artigliere, si vantava di conoscere bene quel tipo di granate e di poter essere molto disinvolto nel trasportarne una (un peso di 14 chili). Mi descrisse anche la struttura interna di quell’ordigno e cosa si doveva svitare e rimontare per farlo esplodere a comando.

Appuntamento alle 6 del mattino (subito dopo la fine del coprifuoco). Aspetta, aspetta, il compagno non viene. Alla fine decido di agire da solo. C’era ancora un luce livida dell’alba invernale, ma di momento in momento la luce aumentava.

Entro nell’aiuola e, incurante dei numerosi passanti, infilo la granata nel portaombrelli e faticosamente me la carico. Ma, ahimè, per me un carico di 14 chili era ben pesante. La mia “officina” era quel giorno una bottega di falegname vicina a Ponte Milvio, ossia, più o meno all’altro capo di Roma. Come arrivarci? Decisi di fare tappa a casa di Marcello Conversi, che abitava lì vicino. Arrivai a casa sua che era ancora a letto. A vedersi scaricare sul suo letto quell’oggetto pesante e, certamente, alquanto temibile, Marcello fece buon viso a un gioco inatteso. Ma promisi di tornare presto

3. Giulio Cortini

per portarmelo via.



Figura 3.2: Marcello Conversi con Fiammetta Lusignoli nel 1941.

E difatti tornai quel pomeriggio stesso con una bicicletta. Attaccai il portaombrelli alla canna e partii. Quando arrivai al ponte sul Tevere mi accorsi che il ponte era presidiato da un soldato tedesco. Non potevo dare segni di paura. Passai e lui non mi disse niente.

In quella bottega di falegname di Ponte Milvio lavorai parecchi giorni, smontando la granata, con l'incoscienza di uno che aveva avuto solo indicazioni generiche su come operare con un oggetto pericolosissimo, e preparando un *timer*, anzi due *timer* (uno per il futuro). Quando ebbi finito, la bomba era pronta, truccata da estintore, e si trovò il compagno che la sistemò in un ufficio dell'EIAR.

Il botto ci fu, all'ora prevista, ma ebbe ben poco rilievo. Quei pochi compagni che, avvertiti del "colpo" in programma, ascoltavano il radiogiornale aspettandosi un botto, si accorsero solo di una esitazione dello *speaker* in

quel momento, ma nulla più. Un ben misero risultato per tante fatiche e tanti rischi.

Ad ogni modo, il botto c'era stato e ciò mi diede un notevole prestigio.

Un vero guaio.

I dirigenti si convinsero che ero in grado di preparare a comando una bomba a tempo, senza difficoltà. Risultato: una bomba che non poteva esplodere. E difatti non esplose, come vedremo.

Nel frattempo, io avevo anche una vita privata. Mi ero legato a una valorosa compagna, Laura Garroni, che militava con i comunisti cattolici, ma, poiché mi aiutava sempre più nella mia attività bombarola (il suo pseudonimo era "Caterina", mentre il mio era "Cesare"), proprio in quel giro di tempo era stata "comandata" a lavorare con me, per evidenti motivi di sicurezza.

La sposai in chiesa la sera del 25 ottobre. Dopo la cerimonia caricai la sposa sulla canna della bicicletta e, dopo una cena di famiglia, ce ne andammo. La mattina dopo decidemmo di prenderci una giornata di vacanza dai compiti di partito.

Ricomparvi dunque la mattina del 27 ottobre.

E mi sento dire da Carlo Salinari (irritatissimo per la mia assenza) che bisognava preparare un'altra bomba da far esplodere il 28 ottobre, ossia il giorno dopo! Bisognava attaccare le celebrazioni della Marcia su Roma, che i fascisti avevano in programma al teatro Adriano. Dichiarai che era impossibile. Per preparare l'altra avevo dovuto lavorare parecchi giorni, e ora mi mancavano parecchi ingredienti, tra cui l'esplosivo. Ma Salinari insisteva. L'ordine perveniva direttamente dal CLN.

Gli ordini del partito non si discutono.

Passai una giornata angosciata per procurarmi tutto ciò che non avevo. Dovetti tra l'altro arrancare in bicicletta fino a Monte Sacro, per trovare un compagno che mi consegnò della gelatina esplosiva (che io non avevo mai usato).

Alle 5 del mattino del 28 ci incontrammo con Gianfranco e Laura nell'officina di via Censola. Avevamo soltanto una pila elettrica, che rischiava di esaurirsi, e avemmo tempo per fare soltanto una prova di funzionamento, usando il secondo *timer* artigianale che io avevo messo da parte.

Anche questa volta l'ordigno fu truccato come un estintore, e un compagno, rischiando la vita, lo portò sotto il palco dove si dovevano riunire i fascisti. Pensare che tutto il CLN sarebbe stato attaccato alla radio in attesa ad aspettare il botto!

3. Giulio Cortini

E pensare, oggi, che se l'ordigno avesse funzionato sarebbe stato un miracolo!

E difatti, non funzionò.

Perché? Ipotesi possibili: pila esaurita, interruttore in configurazione sbagliata, innesco (di fortuna) di un esplosivo a me sconosciuto non funzionante... chi lo sa? Dopo l'arrivo degli alleati andai insieme a Sasà Bentivegna a vedere. L'ordigno era ancora lì e decidemmo di tornare più tardi per portarlo via. Ma quando tornammo già qualcuno lo aveva portato via sicché mai conosceremo quel perché.

Visto che ho raccontato un insuccesso delle nostra – chiamiamola pomposamente così – tecnologia artigianale, voglio invece descriverne alcuni successi.

Importanti furono le bombe a tempo con innesco chimico messe a punto e fabbricate da Giorgio e Gianfranco. Ne furono preparate parecchie e, tra l'altro, furono uno degli strumenti di battaglia di Mario Fiorentini e di Carla Capponi.

Importante fu la costruzione in serie dei chiodi a quattro punte. Merito di due compagni operai particolarmente tosti, Idolo e Peppino, che fecero le prove, idearono il procedimento, e lo realizzarono.

Un altro caso fu quello della preparazione di efficienti bombe a mano. Avevamo a disposizione molte bombe da mortaio Brixia. Si trattava di trasformarle. Ce ne occupammo cercando le soluzioni migliori, con Laura e con Tullio Pietrocola. Alla fine Tullio ebbe un'idea geniale. Fare una capocchia alla breve miccia e preparare delle strisce di cartone trattate con fosforo in modo che i compagni potessero accendere le bombe come si accende un fiammifero.

Più banale, come tecnologia, fu il caso di via Rasella. Una cassetta d'acciaio fu riempita di pentrite. E fu appoggiata su altre scatole contenenti pentrite, per un totale di 18 chili di esplosivo. L'innesco era una semplice miccia di durata calcolata in anticipo: nessun artificio particolare. Le "nostre" bombe a mano furono utilizzate per il secondo attacco (sembra che quelle bombe abbiano confuso le idee ai tedeschi, che cercarono invano un mortaio).

In quel caso il botto ci fu, tragicamente grosso (come tutti sanno).

3.3 I raggi cosmici e le prime ricerche

Torniamo ora al momento in cui ha iniziato la sua attività di ricerca.

Ho iniziato in un modo abbastanza strano. Era uscita all'epoca la tecnica delle emulsioni nucleari, e i miei capi, cioè Wick e Amaldi, non capirono che era un discorso assai complicato e difficile e presero questo giovanotto, che ero io: "Tu occupati delle lastre nucleari!". Fu una scelta sbagliata!

In che senso?

Nel senso che non si poteva affidare a una persona inesperta, completamente inesperta, una nuova tecnica. Mi fu affidata in modo abbastanza incosciente (dopo che avevo concluso un lavoretto insieme a Franco Molina).

Non c'era nessuno lì a Roma che fosse competente in questo genere di ricerche?

Non c'era nessuno!

Cominciò da solo o ebbe un aiuto da qualcuno?

Inizialmente ebbi un aiuto da Ettore Pancini, che mi apprezzava molto e mi voleva bene, tra l'altro perché eravamo comunisti tutt'e due. Aveva una grande esperienza personale e mi guidò molto all'inizio. Fu una cosa abbastanza avventurosa, molto avventurosa! Imparai a guardare in un microscopio. Persi moltissimo tempo per la mia inesperienza. Presto Ettore mi abbandonò e le prime tracce di protoni le vidi dopo avere fatto diversi tentativi a vuoto di ripetere ricerche pubblicate su *Physical Review*. Invece c'era una soluzione semplice: irraggiare le lastre con i neutroni dell'impianto della Sanità (un acceleratore da 1100 KV). Vidi così tanti protoni di rinculo.

Chi altro si occupava di queste cose in Italia in quel momento?

Occhialini stava ancora a Bruxelles, infatti, quando finalmente mi mandarono da lui, imparai tantissime cose, ma prima feci un piccolo lavoro autonomo con l'aiuto di Augusta Manfredini, che si era laureata un po' prima di me. Solo dopo un anno passato a Bruxelles con Beppo Occhialini, imparai una serie di accorgimenti tecnici molto importanti.

Come affrontò il problema inizialmente? Come si acculturò in questo campo sconosciuto?

Mi misi a studiare un po' di libri e fu una cosa avventurosa. . . c'era Gilberto Bernardini, che era un grande fisico! Ed io lavoravo con lui e lui tirava fuori

3. Giulio Cortini



Figura 3.3: Ettore Pancini verso il 1945 (Archivio Dipartimento di Fisica Università di Roma “La Sapienza”).

delle conclusioni dai raggi cosmici, dalle poche cose che noi riuscivamo a mettere insieme, che erano geniali.

In che cosa consisteva esattamente il vostro lavoro?

Consisteva nell’esaminare un gran numero di lastre che per esempio erano state esposte alla Testa Grigia oppure in pallone. Facemmo un’esperienza in pallone che fu davvero complicata.

Questi palloni da dove venivano lanciati in quel periodo?

Da Milano, infatti io mi trasferii a Milano e ci rimasi un bel po’ di giorni.

Chi c’era a Milano che lavorava a queste cose?

C’era Aldo Persano, un fisico molto più esperto di me che lavorava all’osservatorio meteorologico. Per amicizia decidemmo di fare questi lanci e fu una cosa abbastanza avventurosa perché avevamo comprato questi palloni di neoprene – lui aveva già un’esperienza di palloni. Facemmo questi lanci dopo lunghe elucubrazioni e discussioni, decidemmo di lanciare 3 palloni, lui aveva molta pratica in questo tipo di cose. Era una cosa avventurosa perché il recupero del materiale era affidato ai carabinieri. Scrivemmo una lettera diretta al capo dei carabinieri del luogo dove sarebbe stato ritro-

vato il materiale con tutta una spiegazione relativa al materiale e perché bisognava recuperarlo; c'era anche un assegno diviso a metà, perché questi avessero un incentivo a spedire. Ed infatti lo spedirono indietro.

Quindi l'interpretazione veniva fatta in collaborazione con Gilberto Bernardini. Ma Wick si interessava degli aspetti teorici di queste questioni?

No!

Quanto durò il suo periodo milanese?

E' stato un periodo breve, una quindicina di giorni

E Pancini si occupava di questi argomenti in quel momento?

No! Pancini aveva abbandonato. L'esperimento di Pancini, Piccioni e Conversi era già concluso.

Che tipo di collocazione aveva a quell'epoca?

Quando alla fine dell'occupazione tedesca di Roma entrai nell'Istituto di Fisica, Amaldi mi chiarì che non aveva per il momento possibilità di pagarmi. Ma alla fine del primo mese mi diede le prime 1000 lire, raccattate chissà dove! Poi diventai "assistente volontario in soprannumero". Mi misi a ristudiare la fisica del biennio, sui libri di Amaldi e di Bernardini. Ero assiduo e facevo molti esami. Facevo lezioni di fisichetta agli studenti di ingegneria, arrabattandomi tra attività di cui non ero padrone, ma recavo un buon contributo all'organizzazione dell'Istituto.

Amaldi dispose che tutti i giovani dell'Istituto facessero un seminario. Fu Piccioni che mi suggerì (mi assegnò, potrei dire) il mio: un teorema di elettronica sugli amplificatori. Era un discorso abbastanza complesso. Me lo preparai parola per parola e andò bene (Ferretti si congratulò). Cominciava a venir fuori la mia capacità didattica! Più tardi mi occupai dell'organizzazione delle esercitazioni per gli studenti. Un anno le organizzai proprio bene, facendo entrare i gruppi uno alla volta: almeno la prima lezione la capivano bene, e non erano spaesati per tutto il resto del corso. Ma avevamo questi due professori – Amaldi e Bernardini – ed erano una disperazione!

In che senso?

Perché gli studenti andavano da Bernardini a chiedere delle facilitazioni per l'esame, e lui diceva sempre di no! Poi andavano da Amaldi che diceva sempre di sì! Sicché noi eravamo un po' sballottati tra questi due poli opposti; c'erano sempre queste agitazioni tra gli studenti.

Quali erano i problemi?

3. Giulio Cortini

I problemi riguardavano gli esami, le sessioni d'esame, perché un giovanotto appena entrato veniva subito messo a fare gli esami e questo era un errore. Certo si trattava di un'emergenza!

Quindi anche a lei capitò questo tipo di situazione?

Continuamente! Io diventai un bravissimo esaminatore.

Ma Gilberto Bernardini teneva qualche corso a Roma?

Certo, teneva il corso di fisica. C'erano due corsi di fisica: uno per il primo anno e uno per il secondo, Bernardini si alternava con Amaldi ed io mi ricordo delle scene incredibili! Ad un certo punto io stavo facendo esami e sentii Gilberto che cominciò ad urlare "Non abbia paura! La smetta di avere paura!". Quel poveretto tremava. Io per esempio ricordo l'esame per diventare assistente. Amaldi ci diede un compito scritto: "I principi di conservazione". Avevo studiato parecchio; il giorno prima dell'esame Laura mi aveva sgridato per la debolezza che dimostravo nel paventare l'esame. Andammo al cinema a vedere un film con Ingrid Bergman "Io ti salverò". Anni dopo Pancini mi disse che dovevo a quel compito se poi avevo vinto la cattedra, perché prima di leggerlo Amaldi non aveva alcuna stima di me, e invece il mio fu giudicato il secondo tra quelli di tutti i miei colleghi; il primo fu quello di Ernesto Corinaldesi.

Il terrore degli esami di fisica! E Gilberto era severo come esaminatore?

Sì!

Però tutti dicono che fosse una persona molto affascinante.

Sì, altroché! Era un uomo straordinario! Abbiamo avuto una grande fortuna perché quei due erano realmente dei capi! Erano tutti e due straordinari ed era un ambiente meraviglioso! Un ambiente incredibile, di persone, che cercavano di migliorare il mondo. È stata una grande fortuna avere queste due persone! Naturalmente tra loro c'erano anche dei contrasti.

Che genere, per esempio, di contrasti? Su che cosa dissentivano?

Questo mi sembra un po' difficile dirlo... erano due persone molto decise, diciamo così, però erano bravi!

Avevano tutti e due un carattere molto forte?

Sì!

Torniamo al lavoro sulle emulsioni nucleari. Ci furono altre immissioni di persone?



Figura 3.4: Lago di Como, 16 settembre 1949. Gita in barca durante il convegno della Società Italiana di Fisica. Da sinistra: Franca Magistrelli, Giulio Cortini, Magda Sansone (Cortesia Franca Magistrelli).

No, essenzialmente ad un certo punto io presi la decisione di andare direttamente da Occhialini, a Bruxelles e allora imparai un sacco di cose. Anche Occhialini era un uomo straordinario! Facevamo dei lanci con palloni; sono rimasto sei mesi.

C'erano altri italiani che lavoravano con Occhialini in quel momento?

No.

3.4 L'antiprotone

Come è andata la storia dell'antiprotone?

Fu Carlo Castagnoli che segnalò quell'evento. Avevamo studiato parecchi eventi di un certo interesse, avevamo fatto dei ragionamenti abbastanza sottili su varie cose. L'antiprotone era nell'aria. Tutti i teorici del mondo erano d'accordo nel pensare che esso facesse parte del quadro delle particelle elementari e a Berkeley un gruppo di importanti fisici sperimentali (tra cui Emilio Segrè e Clyde Wiegand) avevano progettato ed eseguito

3. Giulio Cortini



Figura 3.5: Lago di Como, 16 settembre 1949. In prima fila da sinistra: Giulio Cortini, Adriana De Angelis, Franca Magistrelli. Dietro: Mendola e Giacomo Morpurgo (Cortesia Franca Magistrelli).

un esperimento per dimostrarne definitivamente l'esistenza. L'esperimento riuscì e fu premiato con un premio Nobel. Tuttavia quei ricercatori vollero una conferma più sensazionale: provocare nelle loro lastre nucleari fenomeni analoghi al "nostro". La tecnica di rivelazione studiata era dunque quella delle lastre nucleari, la stessa che usavamo noi a Roma. Un nuovo esperimento con questa tecnica avrebbe permesso di studiare – al di là della mera "esistenza" – le interazioni dell'antiprotone con la materia.

Tutto cominciò una sera, o meglio un pomeriggio avanzato. Io mi ero attardato in laboratorio a lavorare, quando Carlo entrò nel mio studio, e richiamò la mia attenzione su un "evento" che era stato trovato in una lastra esposta ai raggi cosmici in alta quota. Lui lo aveva selezionato e se ne stava occupando con Augusta. Li avevo visti che parlottavano tra loro, ma non sospettavo nulla di sensazionale. E allora Carlo uscì fuori con la domanda "Se fosse un antiprotone?".

"Ci sarebbe un'energia di 2 GeV", osservai. "Due... , perché due?" "Nell'annichilazione spariscono in due, l'antiprotone e un protone". La faccia di Carlo si schiarì. Lui non lo se lo ricordava e pensava che si sviluppasse soltanto un GeV, meno di quel che l'evento faceva supporre.

Quando in un gruppo di persone si trova oro, di regola emergono le qualità meno nobili degli interessati: ambizione, gelosia, invidia. . . Amaldi era fuori Roma e Carlo insisteva con molta determinazione che dovevamo portare avanti l'analisi prima che lui rientrasse a Roma: così cominciammo a lavorare intensamente su quell'evento e facemmo filtrare in tutto l'Istituto la notizia: stavamo lavorando alla "scoperta" dell'antiprotone. Le discussioni furono accese. Ricordo in particolare il contributo di Bruno Touschek, che prese la cosa molto seriamente. Il suo contributo fu molto importante.

Il motivo di tanta fretta era meschino: chi avrebbe firmato "la scoperta"? Era possibile escluderne Amaldi? I miei ricordi sono confusi e non sono in grado di rammentare bene quel che accadde in quei giorni, e di mettere i vari eventi in ordine di tempo.

Li rammento alla rinfusa.

La notizia si sparse nel laboratorio: che stessimo studiando un possibile antiprotone suscitò l'interesse dei colleghi. E cominciarono estese e lunghe discussioni.

Un autorevole professore di fisica di Torino pubblicò su una rivista settimanale un'intervista in cui descrisse in termini molto elogiativi il nostro lavoro. Di conseguenza diversi giornalisti vennero a intervistarci: in particolare volevano parlare con la "donna del gruppo", Augusta Manfredini.

Amaldi, al suo ritorno a Roma venne, naturalmente, informato della situazione e tutti facemmo apparire che la discussione dell'evento era già stata svolta nei dettagli: non c'era bisogno del suo contributo.

Io partecipai tiepidamente alla discussione (per rettitudine o per il pensiero "io gli regalo un evento e lui mi mette in cattedra"?). E finì che gli proponemmo di scrivere il lavoro.

Il punto debole del nostro lavoro era che la connessione tra i due eventi poteva essere frutto di una sovrapposizione casuale. Noi calcolammo che la probabilità di tale ipotesi casuale era molto bassa (ma accade anche che si vincano terni al lotto!). Comunque, l'evento ci pareva interessante e gli demmo un nome: Faustina.

Uno dei problemi che ci si posero era dimostrare che nell'evento si era sviluppata un'energia alta. Io inventai un metodo nuovo di misurare l'energia di una particella in volo la cui traccia passa attraverso più lastre: fu un mio contributo originale alla discussione, di cui vado ancora orgoglioso. Quella mia invenzione avrebbe meritato che pubblicassimo un lavoro tecnico a parte, ma non lo facemmo.

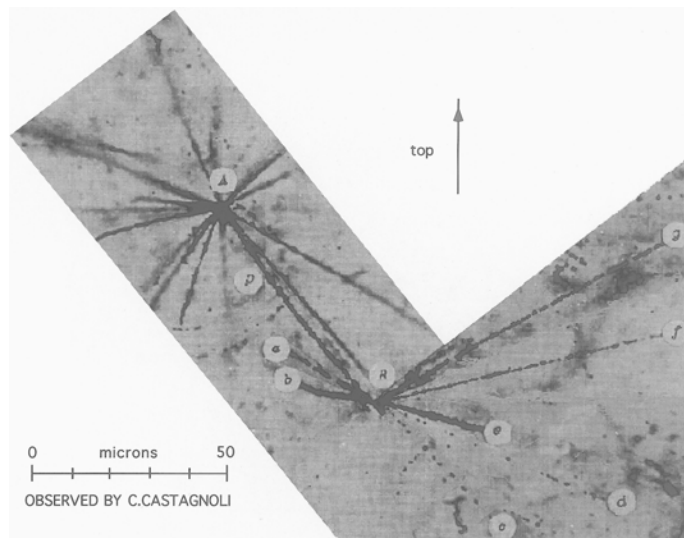


Figura 3.6: L'evento "Faustina", interpretato come la traccia di un antiprotono, fu trovato in una delle lastre appartenenti al pacco di emulsioni lanciato dall'aeroporto di Elmas, vicino Cagliari, nel 1953.

Alla fine, la mia opinione prevalse e chiedemmo ad Amaldi di scrivere il lavoro e decidemmo di pubblicarlo col titolo "Unusual event found in nuclear plates", o qualcosa di simile.³ Amaldi, era in contatto frequente con il gruppo di Berkeley e grazie al suo prestigio il nostro gruppo venne associato al loro "secondo" esperimento: loro ci mandarono delle lastre che avevano esposto al fascio di antiprotoni prodotti dalla loro macchina, da 6.3 GeV, che era entrata in funzione da poco e noi vi trovammo il "primo" evento del tipo "faustina": telegramma, congratulazioni. Ma naturalmente il prestigio di questo nuovo risultato, e di quelli che seguirono, rimase in gran parte a loro.

3.5 L'insegnamento

Nel 1951 prese la libera docenza. Come è proseguita la sua carriera universitaria?

³Il lavoro fu pubblicato con il titolo "Unusual event produced by Cosmic Rays" e fu firmato da E. Amaldi, C. Castagnoli, G. Cortini, C. Franzinetti e A. Manfredini.

Quando venne il momento di concorrere alla cattedra, riuscii al secondo tentativo, nel 1956, per l'appoggio di Gilberto Bernardini, che era presidente della commissione. A Messina fui professore straordinario di Fisica superiore; ci rimasi meno di 1 anno. Ma feci alcune buone amicizie: Simona Mafai, col marito (comunisti sfegatati) e altri. Poi andai a Catania. Furo-no due anni in continuo attrito col direttore dell'Istituto, Renato Ricamo. Nel 1959 diventai ordinario, fui chiamato da Eduardo Caianiello a Napoli. Qui cambiasti insegnamento: nel '63, dopo aver chiamato Pancini alla Fisica superiore, passai dalla Fisica superiore alla Fisica generale, dove mi trovavo molto meglio. Ci rimasi fino al '74.

I primi tempi a Napoli ero molto contento, anche se fin dal principio fui in contrasto violento con alcuni ricercatori locali e in particolare con l'insop-portabile Roberto Stroffolini. Ma quando arrivò il '68 i contrasti diventa-rono estremi. Fu allora che decisi di abbandonare la ricerca in fisica e mi dedicai completamente alla didattica, fondando il *Seminario Didattico*, che si teneva al vecchio Istituto di Via Tari, invece che alla Mostra d'Oltremare, dove allignavano tutti i contestatori. Ma loro riuscirono a rendermi la vita difficile anche lì, sostenendo tra l'altro una femmina pestifera che preferisco non nominare.

L'inverno del 1968 fu dominato nell'Università dai cosiddetti sessantottini (giustamente?). I quali interrompevano le lezioni per i più svariati motivi, organizzavano eventi di politica varia nelle aule e nelle sedi in cui si sarebbe dovuta fare lezione e disturbavano l'anno accademico in tutti i modi pos-sibili. Io li detestavo ma, professore progressista, partecipai qualche volta, sia pure *obtorto collo*, alle loro iniziative. Una volta avevano organizzato una seduta pro Vietnam nell'Istituto di Fisica di Via Tari. I disgraziati non avevano pensato a organizzare un servizio d'ordine, e quando arrivai nell'aula mi accorsi che tutte le gradinate superiori erano occupate da fa-scisti, armati di uova (marce, suppongo) e forse di pietre. Se le passavano da una fila di banchi all'altra per prepararsi a usarle. Vidi rosso. Tutta la rabbia che avevo accumulato (contro i sessantottini) si scatenò, mi levai la giacca e guidai un assalto all'aula. Urlavo, e riuscii a cacciare i fascisti fuori dall'aula, con l'aiuto di alcuni (non tanti) studenti e di un paio di bidelli.

Quando parlo della mia vita, ho la tendenza a svalutare il mio ruolo nelle vicende molteplici della mia lunga esistenza. Non è un caso. Negli ulti-mi tempi ho spesso ripensato con dolore ai numerosi casi in cui io sono stato inferiore, per azioni o per omissioni, a un livello che sarebbe stato

3. Giulio Cortini

il più dignitoso e onesto. Questo però non significa che tutta la mia vita sia stata poco onesta. Ci sono dei momenti, o dei periodi, ai quali ripenso con piacere, pomposamente li definisco “momenti di gloria”. Uno di questi riguarda il mio seminario sul “paradosso dei gemelli”, a Roma. Si tratta di un paradosso che è conseguenza della teoria della relatività. Anna e Dario sono due gemelli e, ovviamente, hanno la stessa età. Anna si mette in moto a velocità relativistica: corre come una pazza e torna indietro. Quando si ricongiungono Anna è più giovane di Nino. Che questo risultato abbia un’aria paradossale credo che sia evidente, se non altro perché, dal punto di vista della teoria della relatività, ci si può domandare quale dei due abbia viaggiato e quale no. E questo argomento tende a produrre la convinzione che ci sia simmetria tra le due situazioni. Fiumi di inchiostro sono stati spesi in proposito, in particolare perché un distinto astronomo, ha sostenuto, molto energicamente, che il paradosso è impossibile, ossia che si tratta effettivamente di un paradosso. L’argomento era diventato più caldo perché un fascicolo di *Physics Today* dedicato tutto al paradosso, ne aveva recentemente negato la possibilità. Io avevo proposto l’argomento come titolo di un seminario, a conclusione di un corso di aggiornamento per insegnanti che avevo organizzato a Serapo. Poi, trovandomi ben padrone dell’argomento, lo avevo riproposto come seminario per l’Istituto di Fisica di Roma. Ma tutto mi aspettavo fuor di trovare l’aula piena di colleghi autorevoli. C’erano Ettore Pancini, Gianfranco Chiarotti, Marcello Conversi, Bruno Touschek e altri. Tuttavia pareva che, tranne Touschek, non avessero riflettuto sul problema e che fosse materia nuova per loro.

Mi ero preparato bene. Cominciai coll’invocare l’autorità: passai in rassegna una ventina di libri di autori riconosciuti che lo accettavano senza riserve. Poi discussi la teoria. Falsificai l’argomento di Bergson sulla simmetria dei due gemelli. E posi chiaramente i due ben distinti quesiti che interessavano: È vero che il paradosso è una conseguenza diretta della teoria della relatività? È vero che numerosi esperimenti lo confermano? Alla fine Touschek intervenne in appoggio al mio punto di vista.

Fu forse quel seminario a propiziare la mia chiamata a Roma, sulla cattedra di Complementi di fisica generale I nel 1974. Fu una gran fortuna che a quel tempo i fisici di Roma ebbero la possibilità di disporre di parecchie cattedre e i colleghi decisero di chiamarmi. Incredibile, non andai neanche a ringraziare Amaldi

3.6 Il Laboratorio di Didattica

A Napoli aveva organizzato il Seminario Didattico, continuò a occuparsi di didattica anche a Roma?

Sì, fondai il *Laboratorio di Didattica delle Scienze*. Avevo alle spalle l'*Iniziativa Relatività*, che avevo diretto a Napoli e a cui avevano partecipato parecchi colleghi di tutta Italia. E contavo di lavorare assieme a diversi esperti di didattica che operavano sul posto. Ma Paolo Guidoni era un litigioso, Paolo Pani rifiutò ogni collaborazione, Salvo D'Agostino si rivelò (a mio avviso) incapace, Matilde Vicentini non aveva molta stima di me, anche se negli anni successivi avemmo una proficua collaborazione organizzativa, Sandro Petruccioli e Carlo Tarsitani si defilarono.

Comunque il Laboratorio funzionò per parecchi anni, soprattutto perché con l'aiuto del PCI ci furono assegnati per diversi anni ben 10 comandi di insegnanti, che rappresentarono le 5 aree disciplinari del Laboratorio: matematica, fisica, chimica, biologia e scienze della terra. L'esistenza dei comandi valse a tenere insieme i colleghi delle varie discipline che facevano parte del Laboratorio (Milena Bandiera, Bruno Bertolini, Lucio Lombardo Radice, e altri). I risultati furono il collegamento, tramite un archivio elettronico, con circa 1000 insegnanti di materie scientifiche nelle scuole romane, più di 50 corsi di aggiornamento per insegnanti (di cui una decina diretti da me), diversi congressi, diversi cicli di conferenze (che in realtà sostituivano anche il *seminario generale*, che era stato soppresso di fatto e sostituito da tanti seminari specialistici) e altrettanti libri pubblicati da Nuova Italia, un tentativo fallito di portare l'elettronica nella scuola secondaria (fallito, ma aveva un pregio: è l'unico esperimento didattico che, a mia conoscenza, abbia avuto un esito negativo. Il che dimostra che è stato, effettivamente, un esperimento).

Alla fine del mio lavoro di fisico, mi debbo domandare in quale misura io abbia dato un contributo valido al quadro scientifico italiano.

Sono stato un bravo insegnante, questo sì, ma limitatamente alla fisica del biennio, anche se per diversi anni sono stato docente di Fisica superiore, e ho pubblicato su tale materia un grosso corso di dispense.

Ho studiato parecchio, ma non ho assimilato molto. La tecnica delle lastre l'ho conosciuta abbastanza bene, ma le mie competenze tecniche si fermavano lì. Una carenza gravissima: l'elettronica. E, più tardi, una carenza assurda nell'uso dei calcolatori.

3. Giulio Cortini

Se devo ricordare le cose utili che ho concluso, forse la più importante è il libro di fisichetta, *Misure e apparecchi di fisica* che pubblicai assieme a Sebastiano Sciuti: fu adottato per molti anni praticamente da tutte le Università italiane, tanto che ci guadagnai parecchio. Ancora una volta la mia capacità didattica.

A tal proposito voglio ricordare che un anno, a Napoli, tenni un corso di Fisica generale del tutto originale, partendo da un “pedagogato” fatto dapprima a quella decina di studenti seccioni che vennero alla prima lezione. Facevo partecipare attivamente gli allievi, sempre a gruppi di otto persone. La cosa riuscì. Il numero dei gruppi andò aumentando fino alle vacanze di Natale. Alla fine feci alcune lezioni frontali nell’aula di via Tari colma fino alle ultime file. Fu un lavoro originale di cui ero molto fiero (anche se non fu possibile andare avanti in quel modo per tutto l’anno). Purtroppo non ho mai trovato la voglia di scrivere un resoconto di quel (riuscito) tentativo. Eppure varrebbe la pena di raccogliere quell’eredità.

Con l’*Iniziativa Relatività*, con il *Seminario didattico* a Napoli e con il *Laboratorio di didattica delle scienze*, a Roma, ho contribuito a creare un collegamento tra i ricercatori didattici italiani. Altri lavori didattici di qualche rilievo furono i quaderni su “*La propagazione della luce*”, redatti con l’aiuto di Ugo Buontempo, Stefano Schacherl e Carlo Tarsitani, e con la partecipazione sistematica di parecchi insegnanti (purtroppo il Ministero, dopo averli finanziati non li diffuse per niente tra gli insegnanti). Su quei quaderni tenni una relazione (che fu molto apprezzata) al congresso Internazionale sull’ottica a Braga (Portogallo).

Complessivamente, come giudica l’insieme della sua attività?

Il mio pregio maggiore è stato forse un impegno abbastanza spinto per l’insegnamento e un disinteresse abbastanza costante rispetto alle mie possibilità di guadagno e di potere (una volta Amaldi mi disse che avevo “buon carattere”).

Se devo dirla tutta, temo che, ai fini della mia carriera come fisico, il mio lavoro più rilevante sia stato la bomba di via Rasella, dalla quale (anche se non me ne sono mai vantato) trassi un certo prestigio, nonché la stima e l’appoggio di alcuni maestri e colleghi influenti.

Bigliografia

Bibliografia sui raggi cosmici

- [1] Bernardini G., Cortini G., Manfredini A., Sull'assorbimento in diversi materiali della radiazione che genera le evaporazioni nucleari, *Nuovo Cimento*, 1948, 5, 511–512.
- [2] Bernardini G., Cortini G., Manfredini A., Nuclear Evaporations Produced by Cosmic Rays, *Phys. Rev.*, 1948, 74, 845–846.
- [3] Cortini G., Manfredini A., Persano A., Sulla generazione dei mesoni lenti in quota, *Nuovo Cimento*, 1948, 5, 507–508.
- [4] Cortini G., Manfredini A., Persano A., Sulla variazione con la quota della frequenza delle evaporazioni nucleari nelle lastre fotografiche, *Nuovo Cimento*, 1948, 5, 292–297.
- [5] Bernardini G., Cortini G., Manfredini A., On the Absorption of Nucleonic Component in Cosmic Rays, *Phys. Rev.*, 1948, 74, 1878–1879.
- [6] Addario M., Cortini G., Sulla fotoriproduzione degli eventi osservati nelle lastre fotografiche, *Nuovo Cimento*, 1948, 5, 567–568.
- [7] Bernardini G., Cortini G., Manfredini A., Sulle evaporazioni nucleari nei raggi cosmici e l'assorbimento della componente nucleonica. Prima parte, *Nuovo Cimento*, 1949, 6, 456–469.
- [8] Cortini G., Sulla distribuzione in energia delle particelle emesse nelle evaporazioni nucleari, *Nuovo Cimento*, 1949, 6, 470–484.
- [9] Bernardini G., Cortini G., Manfredini A., On the Nuclear Evaporation in Cosmic Rays and the Absorption of the Nucleonic Component. I, *Phys. Rev.*, 1949, 76, 1792–1797.
- [10] Bernardini G., Cortini G., Manfredini A., On the Nuclear Evaporation in Cosmic Rays and the Absorption of the Nucleonic Component. II, *Phys. Rev.*, 79, 1950, 952–963.
- [11] Baroni G., Cortini G., Milone A., Scarsi L., Vanderhaeghe G., Etude de la composante molle du rayonnement cosmique au Pic du Midi, *Nuovo Cimento*, 1952, 9, 867–885.
- [12] Cortini G., Manfredini A., Segrè G., On nuclear explosions produced by primary protons in emulsions exposed in the high atmosphere, *Nuovo Cimento*, 1952, 9, 659–686.
- [13] Cortini G., Manfredini A., Segrè G., Sullo spettro di energia della componente nucleonica a varie quote, *Nuovo Cimento*, 1952, 9, 19–193.
- [14] Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C., Manfredini A., Moreno D., An Investigation on jets, *Nuovo Cimento*, 1953, 10, 1539–1558.
- [15] Amaldi E., Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., Preliminary Research on 0V1 Events in Emulsions, *Nuovo Cimento*, 1953, 10, 135–1353.
- [16] Amaldi E., Baroni G., Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., Contributions to the tau Meson Investigation, *Nuovo Cimento*, 1953, 10, 93–948.

3. Giulio Cortini

- [17] Amaldi E., Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C., Life time Measurements of Unstable Charged Particles of Cosmic Radiation Using Emulsions, *Nuovo Cimento*, 1954, 12, 668–676.
- [18] Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., Decadimento in quiete di una particella di massa iperprotonica, *Nuovo Cimento*, 1954, 12, 464–465.
- [19] Amaldi E., Baroni G., Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C., Manfredini A., On a Possible Negative $K-\pi$ Meson Decay, *Nuovo Cimento*, 1954, 11, 207–209.
- [20] Amaldi E., Baroni G., Cortini G., Franzinetti C., Manfredini A., Contribution to the tau-Meson Investigation, Rendiconti del Congresso Internazionale sulle particelle instabili pesanti e sugli eventi di alta energia nei raggi cosmici, Padova 12–15 aprile 1954, *Supplemento al Volume XII del Nuovo Cimento*, 1954, 181–194; Amaldi E., Baroni G., Cortini G., Franzinetti C., Manfredini A., Contribution to the K -Meson Investigation, *ivi*, 210–219; Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C., Observations on Charged Unstable Particles Heavier than protons (Hyperons), *ivi*, 297–304.
- [21] Amaldi E., Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C., Manfredini A., Unusual Event Produced by Cosmic Rays, *Nuovo Cimento*, 1955, 1, 492–500.
- [22] Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C., Observations on Unstable Fragments, *Nuovo Cimento*, 1955, 2, 550–564.
- [23] Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., On the Measurement of Ionization in Nuclear Plates, *Nuovo Cimento*, 1955, 2, 301–313.
- [24] Baroni G., Cortini G., Manfredini A., Su un metodo per determinare il percorso residuo degli iperoni, 1955, *Nuovo Cimento*, 1, 473–481.
- [25] Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., K -Meson and Hyperon Events, *Nuovo Cimento*, 1955, 2, 565–573.
- [26] Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., On the Measurements of Ionization in Nuclear Plates, Rendiconti della Conferenza internazionale sulle particelle elementari e XLI Congresso nazionale di fisica, Pisa 12–15 giugno 1955, *Supplemento al IV volume, Serie X, del Nuovo Cimento*, 1956, 243–244; Castagnoli C., Cortini G., Manfredini A., K -Meson and Hyperon Events, *ivi*, 439–440; Castagnoli C., Cortini G., Franzinetti C. Observations on Unstable Fragments, *ivi*, 615–616.
- [27] Cortini G., Emma V., Ferrero F., Milone C., Milone Tamburino S., Rinzivillo R., Rubbino A., Tribuno C., Risultati sperimentali sulla fotoproduzione di protoni e di neutroni, International conference on mesons and recently discovered particles e XLIII Congresso nazionale di fisica, Padova–Venezia, settembre 1957 (Padova: Ciclografia Borghero), XV–2; Cortini G., Manfredini A., De Marco A., Sanna A., Tomasini G., Misure di ionizzazione in emulsioni nucleari, *ivi*, XVI–10.
- [28] Cortini G., Milone C., Rubbino A., Ferrero F., Energy Spectra of Photoneutrons From Cr and Ta, *Nuovo Cimento*, 1958, 9, 85–98.
- [29] Cortini G., Milone C., Rinzivillo R., Tribuno C., Photoprotons from Nitrogen, *Nuovo Cimento*, 1958, 9, 188–191.

- [30] Ciuffolotti L., Luzzatto G., Tomasini G., Cortini G., On the Mass Measurements in G-5 and K-5 Emulsions, *Nuovo Cimento*, 1958, 9, 1110–1113.
- [31] Cortini G., Luzzatto G., Tomasini G., Manfredini A., On the Method of Ionization Measurement in G-5 and K-5 Emulsions, *Nuovo Cimento*, 1958,9, 706–720.
- [32] Cortini G., Milone C., Papa T., Rinzivillo R., Photoneutrons from Al, *Nuovo Cimento*, 1959, 14, 54–61.

Bibliografia generale

- [33] G. Cortini e S. Sciuti, *Misure ed apparecchi di fisica: Elettricità*. [corso universitario dell'anno] 1951–1952. (Università di Roma) Roma: Tip. Marves, [1953]; 2. edizione completamente rielaborata Roma: V. Veschi, 1954.
- [34] G. Amaldi, G. Careri, A. Cimino e G. Cortini (a cura di), *Il progresso della tecnica: Vol. I*. (Torino, Ed. Radio Italiana, 1954).
- [35] G. Cortini, *Termodinamica: teoria cinetica dei gas*, Appunti dalle lezioni di fisica generale, tenute all'Università di Napoli, anno accademico 1965–66 (Napoli, Liguori, 1966).
- [36] G. Cortini, *Lezioni di fisica 2: elettromagnetismo, fisica moderna per gli studenti di ingegneria* (Napoli, Liguori, 1969).
- [37] G. Cortini, *Elettromagnetismo: appunti di fisica generale per gli studenti di fisica* (Napoli, Liguori, 1969).
- [38] G. Cortini, *La relatività ristretta*, con nota storica di S. Bergia, Torino, Loescher, 1978).
- [39] G. Cortini, M. Fasano Petroni, *Fisica e matematica con il Calcolatore* (Torino, Loescher, 1980).
- [40] G. Cortini (a cura di), *Le trame concettuali delle discipline scientifiche: problemi dell'insegnamento scientifico*, Facoltà di scienze matematiche fisiche e naturali, Università degli studi di Roma La Sapienza, Laboratorio di didattica delle scienze (Scandicci, La nuova Italia, 1987).
- [41] G. Cortini et al., *L'elaboratore on line per analizzare situazioni sperimentali: studio del moto del pendolo* (Bologna, Tecnoprint, 1988).
- [42] G. Cortini (a cura di), *Informatica e insegnamento scientifico* (Scandicci, La nuova Italia, 1988).
- [43] G. Cortini (a cura di), *Incontrare la scienza: riflessioni e proposte rivolte agli insegnanti* (Scandicci: La nuova Italia, 1990).
- [44] G. Cortini (a cura di), *Percorsi di fisica* (Scandicci, La nuova Italia, 1991).
- [45] G. Cortini, The use of the computer as a laboratory instrument in teaching experimental physics, *Phys. Educ.*, 1992, 27, 159–162.
- [46] U. Buontempo, G. Cortini, S. Tamburini, *Orientarsi nella fisica* (Milano, Sansoni per la scuola, 2000).

Capitolo 4

Giorgio Salvini

Giorgio Salvini è nato il 24 aprile 1920 a Milano. Superata privatamente la maturità liceale si iscrisse a Medicina, ma alcune lezioni di Giovanni Polvani lo appassionarono talmente che decise di iscriversi a Fisica. La guerra lo costrinse a rallentare gli studi e a partire militare; al ritorno dal fronte, l'8 settembre 1943, non volendo servire la Repubblica di Salò, si diede alla macchia e visse clandestinamente dentro l'Istituto di Fisica di Milano fino alla fine delle ostilità grazie alla copertura offertagli da Giovanni Polvani – con il quale si era laureato nel 1942 – e da Giuseppe Bolla. Con la tesi sul betatrone cominciarono i suoi interessi per gli acceleratori, ma a quell'epoca la sola concreta possibilità di fare ricerca era offerta dai raggi cosmici, campo a cui si dedicò studiando in particolare gli sciami estesi e gli sciami penetranti. Invitato dall'Università di Princeton nel 1949, continuò negli Stati Uniti la ricerca sui raggi cosmici utilizzando delle tecniche originali per approntare da solo la strumentazione necessaria. Gli incontri che fece in America con Enrico Fermi, Bruno Rossi e John Wheeler, ebbero su di lui una notevole influenza. Nell'aprile del 1951, durante un breve ritorno a Milano, sposò una collega di studi, Costanza Catenacci e pochi mesi dopo, all'età di 31 anni, vinse il concorso a cattedra. Fu chiamato a Cagliari e poi a Pisa già nel 1952 sulla cattedra di Fisica superiore, e nel 1955 a Roma sulla cattedra di Fisica generale, per iniziativa di Edoardo Amaldi.

Mentre era a Pisa fu chiamato da Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini a realizzare un'impresa che avrebbe portato l'Italia in primo piano tra i paesi in cui si andava sviluppando la fisica delle particelle elementari: la costruzione di un grande acceleratore per elettroni e di un Laboratorio Nazionale sul quale potessero confluire gli sforzi dei fisici italiani facenti capo all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). L'idea di costruire grandi impianti era stata sempre congeniale a Giorgio Salvini perché già nell'immediato dopoguerra, insieme a Carlo Salvetti e

a Mario Silvestri, aveva pensato alla possibilità di costruire un reattore, rendendosi ben presto conto della necessità di coinvolgere l'industria. Da quelle iniziative aveva prese le mosse il CISE, Centro Italiano Studi Esperienze, fondato dai tre nel 1946 insieme a Giuseppe Bolla e nel quale Salvini era rimasto fino al 1948, quando aveva scelto di tornare all'attività di ricerca fondamentale.

Sotto la guida di Salvini, il 10 febbraio del 1953 partì l'operazione sincrotrone, dapprima con l'idea di realizzare una macchina da 600 MeV, subito dopo maturò la convinzione di doverla portare a 1100 MeV. Salvini dovette affrontare molte decisioni tra cui quella di proseguire con la costruzione di una macchina a foceggiamento debole e quella di cambiare in breve tempo l'iniettore per poter contare su un'energia di iniezione più elevata; ma la vera impresa fu quella di trasformare un terreno agricolo in un laboratorio attrezzato, compreso un settore di servizi che arrivavano fino all'impianto criogenico, affidato a Giorgio Careri, e ai servizi di calcolo, affidati a Angelo Turrin. I Laboratori di Frascati divennero ben presto un centro di attrazione per teorici come Giacomo Morpurgo e Raoul Gatto, e in particolare Bruno Touschek, che tra la fine del 1959 e l'inizio del 1960 propose la costruzione di un anello di accumulazione per elettroni e positroni. A quel punto le attività messe in piedi sotto la direzione Salvini erano numerosissime e tra le più importanti del Paese in quel settore: c'erano gli esperimenti che stavano per entrare in funzione al sincrotrone, c'era l'avvio dell'anello AdA, che dava inizio alla fisica degli urti materia-antimateria, c'erano tutte le ricadute dei servizi utilizzati per esperienze di fisica della materia. Il sincrotrone era un grande successo in sé: era la macchina più intensa della categoria, inoltre, già nel 1961, appena un anno dopo l'inizio dell'attività su AdA, venne avanzata la proposta di realizzare un anello di accumulazione molto più grande, Adone, da 2×1500 MeV. Bisogna ricordare che in quel momento stava nascendo fortissima la concorrenza del CERN di Ginevra che era, però, centrata sull'uso di macchine a protoni. Salvini ebbe un ruolo determinante nella conduzione di esperimenti sulle proprietà dei mesoni neutri etc.

Intanto la costruzione di Adone andava avanti e su Adone Salvini era presente con un esperimento da lui guidato, che puntava alla produzione di raggi gamma e mesoni neutri. Nel 1966 Salvini era diventato presidente dell'INFN (1966); ma erano anche partite gravi agitazioni sociali e per giunta nel 1963 era scoppiato il caso Ippolito, in occasione del quale Edoardo Amaldi, Marcello Conversi e Giorgio Salvini si erano schierati decisamente contro gli accusatori del collega. Nonostante le responsabilità crescenti e le difficoltà del periodo, Salvini continuò a preoccuparsi dello sviluppo dell'ambiente di ricerca italiano. Sono gli anni in cui si scoprì con Adone la produzione di adroni negli urti elettrone-positrone e si determinarono i primi valori del rapporto tra la sezione d'urto totale adronica e la sezione d'urto per la produzione di coppie di mesoni mu, rapporto il cui valore era assai rilevante per i modelli a quark. Nonostante il dispiacere relativo alla scoperta della nuova particella J/Ψ , mancata per un soffio a Frascati perché, casualmente,

4. Giorgio Salvini

L'energia massima di Adone era leggermente inferiore a quella necessaria per osservarla, a Salvini rimase la soddisfazione di aver aperto la strada a quella scoperta promuovendo la linea degli anelli di accumulazione.

Un'impresa con enormi riflessi sullo sviluppo della ricerca fu il riordinamento dell'INFN. Con il vicepresidente Claudio Villi, che gli succederà, Salvini riuscì a sganciare l'ente dalle pastoie delle "nomine politiche", salvaguardandone l'autonomia di programma e di valutazione nel rispetto delle più generali norme amministrative. Salvini si preoccupò molto in quel periodo dei problemi della formazione dei giovani e non perse mai d'occhio la scuola ad ogni livello, dal punto di vista dell'educazione scientifica.

A partire dal 1976 Salvini decise di lanciarsi in una ricerca sui problemi delle interazioni elettrodeboli al CERN, dove su pressione di Carlo Rubbia, era stato realizzato un anello per protoni e antiprotoni. Un'impresa rischiosa che Salvini sostenne fin dall'inizio. Nel 1983 l'esperimento UA1 riuscì a identificare i bosoni intermedi W e Z^0 . Per questa scoperta Carlo Rubbia – alla guida del gruppo italiano dei fisici partecipanti all'impresa – e Simon Van der Meer (il realizzatore del fascio di antiprotoni) ebbero il premio Nobel nel 1984.

Nel 1990, a un anno dalla scomparsa di Edoardo Amaldi, Giorgio Salvini diventava presidente dell'Accademia dei Lincei, attraverso la quale ebbe modo di continuare l'opera del suo predecessore nel campo del disarmo, con l'aiuto di Francesco Calogero e Carlo Schaerf: la Conferenza Amaldi, gestita da Salvini, divenne un'occasione mondiale di confronto sui problemi della pace. In quel periodo venne chiamato a coprire la carica di Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST) nel governo Dini del 1994; nel corso del suo mandato cercò di risolvere il problema dell'occupazione giovanile nel settore scientifico cercando anche di varare una legge per i concorsi che mettesse riparo alle gravi pecche del sistema. Parallelamente si occupò attivamente del riordino dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e del raccordo con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Durante il suo ministero partì il programma associato al satellite SAX (che di lì a poco venne ribattezzato BEPPO-SAX, in onore di Giuseppe Occhialini). BEPPO-SAX osservò i primi enormi *flash* di raggi gamma cosmici (*gamma-ray bursts*).

Nel 1998 Salvini è divenuto presidente onorario dell'Accademia dei Lincei e professore emerito dell'Università di Roma "La Sapienza".

4.1 Introduzione

In questa nota ho deciso di descrivere le mie ricerche di fisica con i raggi cosmici, che si sono svolte dal 1945 al 1952, proprio perché in quel periodo le ricerche sui raggi cosmici nel mondo sono state di decisiva importanza per la storia della fisica, dalle interazioni nucleari alla scoperta dei pioni alla sequenza di nuovi fermioni e bosoni. Io mi sono trovato coinvolto in

queste ricerche dall'età di ventiquattro anni (al mio ritorno dalla seconda guerra mondiale) sino a trentadue anni. Ho lavorato nel gruppo di Milano e per due anni (1950 – 1952) negli Stati Uniti. Non abbiamo contribuito in modo decisivo alla storia di queste ricerche, pur portando, come si vedrà, risultati che hanno destato un certo interesse nel campo dello sviluppo e della struttura degli sciami estesi di grande energia e delle interazioni nucleari.

Nel 1951 tornai dagli Stati Uniti e passai alla fisica con le macchine acceleratrici in Italia e in Europa. In realtà fui quasi strappato dai miei fisici anziani da un campo all'altro della fisica. Ma, come dirò, mi considero fortunato oltre i miei meriti per le mie scelte, libere o condizionate, da allora, sino agli anni novanta ed oltre del secolo scorso.

La mia attività di ricerca teorica e sperimentale sui raggi cosmici si svolse dunque negli anni 1946–1950 in Italia, e negli ultimi due anni (1950–1952) negli Stati Uniti.

Essa iniziò a Milano nel 1944, quindi in una città e in un paese semidistrutto dalla guerra, con insufficiente informazione dovuta all'isolamento dalle scoperte scientifiche durante gli anni di guerra, e si chiuse nel 1952, quando venni definitivamente attratto dalla fisica di alta energia con macchine acceleratrici di laboratorio. In effetti, dalla fine del 1952 in poi fui totalmente assorbito nella realizzazione dell'elettrosincrotrone Italiano da 1100 MeV, e nelle ricerche con esso e con altre macchine successive.

Debbo dire che quegli anni di ricerca sui raggi cosmici in Europa e nel mondo hanno prodotto un enorme sviluppo della fisica, come illustrerò. Io ho partecipato in modo non decisivo alle scoperte fondamentali dell'epoca. Ma forse anche questo può aiutare a rendere il mio resoconto di quegli anni interessante e imparziale.

La mia attività inizia nel 1945, alla fine della seconda guerra mondiale, con i fisici attenti al problema del legame, ancora confuso, tra i fenomeni elettromagnetici e quelli nucleari, con il mesone μ intermediario ed equivoco legame tra i due. Finisce con un chiarimento tra le forze elettromagnetiche, deboli, nucleari, e con una serie di scoperte quasi troppo ampia di nuove particelle, fermioni e bosoni. Esse danno un quadro plausibile della struttura del nostro mondo, ma con difficoltà ancora oggi (2006) insuperate sulla difficile trattazione teorica dei loro rapporti.

Racconterò queste vicende, inserendole nel quadro delle scoperte maggiori fatte in quegli anni da altri gruppi. Il resoconto del periodo che val dal

4. *Giorgio Salvini*

1944 al 1952 è così articolato:

1. Il ritorno dalla guerra e l'inizio della ricerca sperimentale nei raggi cosmici (1943–1945).
2. La ricerca in raggi cosmici in Italia (1946–1949).
3. Il proseguimento delle ricerche in raggi cosmici in Italia e negli Stati Uniti (1949–1952).
4. La realizzazione di nuovi rivelatori: contatori Geiger-Müller in vetro, contatori sferici, in Italia; scintillatori liquidi e cristalli in camera di Wilson, negli Stati Uniti (1949–1951).
5. L'inizio a Pisa di nuove attività e il progetto di costruzione dell'elettrosincrotrone.

4.2 Il ritorno dalla guerra

Ritornai a Milano dalla Jugoslavia con una licenza straordinaria concessami per avere avuto la casa distrutta in un bombardamento. Appena arrivai, la sera dell'otto settembre 1943, seppi dalla radio che il governo italiano aveva stipulato un armistizio con gli alleati, già suoi nemici (Francia, Inghilterra, Stati Uniti). Fu una coincidenza casuale, che comunque mi fece decidere di lasciare l'esercito italiano per sempre. Ero sottotenente dell'arma del Genio, associato alla divisione Alpina Iulia. Dovevo andare anch'io a quella nostra infelice spedizione di Russia, ma invece feci appena in tempo a ricevere alla stazione di Udine i resti di quella divisione Iulia massacrata in Russia nei primi mesi dell'inverno 1942–1943.

Furono mesi piuttosto confusi per me e per il mio Paese. Mi furono di gran conforto, all'Istituto di Fisica di Milano, la paterna amicizia di Giovanni Polvani e poi di Giuseppe Bolla, e la fraterna amicizia di Carlo Salvetti, assistente dell'Istituto dal 1941. Io, laureato in Milano con lode nel 1942, con una licenza concessami per ragioni di studio, non avevo alcun titolo per poter lavorare in quell'Istituto. Anzi, potevo essere un pericolo per l'Istituto stesso, che accettava di nascondermi. Infatti, all'ordinanza della repubblica fascista rinascente, di presentarci per dichiarare se volevamo aderire, Salvetti ed io ci presentammo per dire di no. Naturalmente dovemmo subito dopo nasconderci.

La mia tesi, iniziata con il Professor Giovanni Gentile, che purtroppo morì ancora giovane nel 1942, e poi guidata dal Professor Polvani, era stata dedicata al betatrone, la nuova macchina acceleratrice per elettroni realizzata in



Figura 4.1: Giovanni Gentile Jr nei tardi anni Trenta (cortesia Enrico Gentile).

America da D. W. Kerst e R. Serber [1]. La notizia ci era giunta attraverso alcuni articoli arrivati dalla Svizzera.

Mi laureai nel luglio 1942, con la tesi: “Accelerazione degli elettroni con colpi di induzione elettromagnetica”. Voglio qui ricordare che in questa mia tesi proposi di considerare l’effetto di betatrone come una possibile sorgente di raggi cosmici nel contatto tra due stelle fornite di un elevato campo magnetico. Non era pensabile allora a Milano alcuna attività sperimentale per una ricerca degna di questo nome. Sicché nel 1943–1945 mi dedicai, con una presunzione eccessiva e senza alcuna guida teorica, a trattare un problema superiore alle mie possibilità di allora: le forze nucleari mesoniche tra protoni e neutroni. Molti tentarono una teoria delle forze mesoniche, pur senza sapere dei mesoni π , scoperti poi nel 1948, che producono per decadimento i mesoni μ dei raggi cosmici. Ricordo in particolare i lavori di N. Kemmer, W. Heitler, H. Bethe [2]. Questi autori ed altri, negli anni 1937 e seguenti, assunsero come esistente, e con una massa dell’ordine di 200 masse elettroniche, la particella prevista da Yukawa: un esempio notevole di anticipata accettazione della previsione teorica. Anch’io mi associi a questa previsione. Questo mio risultato venne pubblicato sugli Atti dell’Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Non posso dire che lasciò traccia significativa, pur apprezzato dall’amico fisico Antonio Borsellino e dal

matematico Luigi Amerio. Comunque, è il numero 1 nella lista cronologica ufficiale dei miei lavori scientifici [S1]. In questo lavoro si determina il valore di un parametro arbitrario a dallo stato fondamentale del deutone, tenendo per la massa del mesone un valore pari a $177 m_e$. Le valutazioni del momento di quadrupolo, del momento magnetico, delle sezioni d'urto per neutroni lenti, risultarono in buon accordo con i risultati sperimentali.

4.3 La ricerca in raggi cosmici dal 1945 al 1949

La mia attività in laboratorio poté iniziare nel 1945 a Milano insieme ad Antonino Mura e a Vanna Tongiorgi. Nel nostro Istituto vi erano due orientamenti per agire e reagire alla situazione del nostro povero dopoguerra: quella guidata da Polvani, di realizzare un impianto di raggi X per ricerche di fisica sullo stato solido della materia; l'altra, di continuare le ricerche in raggi cosmici, su una linea di attività già svolta con successo negli anni 1939–1943 da Giuseppe Cocconi e Vanna Tongiorgi. Si trattava di procedere con idee nuove su quella strada. In particolare si era sviluppata a Milano l'arte di costruire i contatori di Geiger e Müller, particolarmente adatti alla rivelazione di elettroni e mesoni di alta energia, e allo studio degli sciami estesi.

Antonino Mura ed io ci mettemmo su quella via e successivamente si unì a noi Guido Tagliaferri, proveniente dalla Scuola Normale di Pisa. In un primo periodo lavorammo piuttosto isolati, e quasi completamente privi di notizie degli altri istituti del mondo, inclusa Roma, che procedeva in modo fiorente, con eccellenti risultati (vedi il paragrafo successivo sui risultati di Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni).

L'anno 1946 si può considerare per Milano l'anno della nostra rinascita: si allacciarono i primi rapporti con Roma. Fu per me memorabile il viaggio Milano–Roma–Milano con Vanna Tongiorgi e Giuseppe Cocconi, ormai sposi; incontrai finalmente l'ormai famoso Edoardo Amaldi. Si conobbero i risultati romani (G. Bernardini, L. Mezzetti, S. Sciuti ed altri) sui mesoni μ – vita media e proprietà di interazione – e sui progressi in America e in Inghilterra, sulla struttura complessa degli sciami estesi dell'aria e sui cosiddetti sciami penetranti. Sono ancora grato per l'interesse di Gian Carlo Wick al mio lavoro teorico [S1], ma capii che eravamo ormai avviati su nuove linee di pensiero. Scopersi da lui il nuovo termine “interazione forte” per le interazioni nucleari. Fu l'anno della ripresa di contatti personali; in

particolare ricordo che fu Gilberto Bernardini a legarci generosamente alle sue personali ricerche sperimentali sui raggi cosmici e in generale a quelle del gruppo romano. Gilberto metteva voglia di lavorare, ispirava nuovi pensieri, anticipava le cose e soprattutto donava fiducia e alimentava il nostro orgoglio e le nostre speranze. Da lui ho imparato che la fiducia è un bene severo, che induce alla disciplina, spesso più di un seppur motivato rimprovero. Gilberto riconosceva il valore, si inchinava a chi – pochi – avevano piglio e gettata maggiore di lui. L'invidia scientifica, il tormentarsi nel valutare la misura di sé rispetto agli altri, il non gioire dei risultati di altri fisici perché non sono i propri, non facevano parte del suo bagaglio.



Figura 4.2: Giovanni Polvani (Cortesia famiglia Polvani).

L'Istituto di Fisica di Milano era diretto dal Prof. Giovanni Polvani. Mi fa piacere ricordare qui i miei maestri di quegli anni. Giovanni Polvani ha trasmesso a me e all'Università di Milano l'interesse già in me vivo per le scienze umanistiche. Qualcuno lo ha definito "Un umanista prestato alla fisica". Storico profondo ed attento alle fonti, per quanto riguarda la fisica la sua parte forte era la termodinamica; avevamo tutti da imparare da lui, allora e negli anni seguenti.

Giuseppe Bolla, più giovane, anzi messo in cattedra da Polvani, è stato uno sperimentatore raffinato nel campo dell'ottica; da lui ho imparato molto

4. Giorgio Salvini

per quanto riguarda le tecniche e i metodi sperimentali. Mi incoraggiava molto: prendeva sul serio e favoriva i miei programmi e la mia attività in laboratorio. Aveva un sottile ed a volte impietoso spirito critico per i risultati ottenuti da sé e dagli altri.

Con Carlo Salvetti sono stato amico tutta la vita. Con commozione (è mancato lo scorso anno) voglio ricordare che mi ha aiutato sempre, dal mio ritorno a Milano dalla Jugoslavia nel 1943, al mio ingresso nella vita universitaria. Nel 1943, quando io tornai letteralmente spaurito nell'Istituto di Fisica, dove me ne stavo a studiare solitario alcuni articoli del 1935–1938, Carlo mi portò da Polvani, mi trattò da amico e collega, cosa che sollevò vivamente il mio spirito. Carlo Salvetti è stato una persona di prima classe, ma, lasciatemelo dire, tutti a Milano in quegli anni difficili 1940–1950 sono stati generosi con me.

Nel 1946 era venuto a Milano da Roma Bruno Ferretti, un fisico già famoso, che aveva vinto la cattedra di Fisica Teorica a Milano. Ferretti fu per tutti un faro di luce, nel campo dei raggi cosmici e di molti problemi quantistici. Tutto il mio gruppo lavorò con lui, teoria e risultati sperimentali. Debbo ricordare il mio sollievo nel confrontare la sua maggiore esperienza e visione teorica con quello che avevo sino a quel punto raccolto.

Inizii dal 1946 la serie di ricerche a varie quote che adesso vengo a raccontare. Esse ci hanno portato presto ad una descrizione degli sciami dei raggi cosmici nel loro sviluppo elettromagnetico nucleare, che anche oggi si può considerare corretta. Fatemi chiarire che le ricerche sugli sciami estesi erano lo studio degli eventi di massima energia d'urto particella – particella che madre natura potesse offrirci.

Posso distinguere la nostra attività milanese in due fasi: la prima a Lago d'Inferno, in provincia di Sondrio, a 2100 metri di altezza; la seconda alla Testa Grigia, sul Monte Cervino, a 3500 metri di altezza. Là era nato il Laboratorio Nazionale di Raggi Cosmici, per merito particolare, da Roma, di Gilberto Bernardini e di Ettore Pancini.

A guerra appena finita, Lago d'Inferno fu il segno della nostra orgogliosa ripresa. Ricordo Polvani e Bolla, appollaiati nella cassetta della teleferica vietata al trasporto di persone, dondolanti a cento metri dal suolo, salire con noi ed aprire la strada alle ricerche milanesi, dopo il disastro della guerra.

Un mio primo lavoro sull'assorbimento della radiazione cosmica a 2100 metri apparve sul *Nuovo Cimento* nel 1946 [S2]. In esso si contribuì, con

una doppia analisi e impiegando dispositivi di contatori di Geiger e Müller, a fissare la percentuale degli elettroni sulla componente penetrante (mesoni μ), al variare dello spessore di piombo attraversato. Gli elettroni della radiazione cosmica sono ben identificabili dalla loro capacità di moltiplicarsi in cascata e di dare luogo ad eventi che interessano contemporaneamente più contatori (coincidenze quintuple, vedi Figura 4.3).

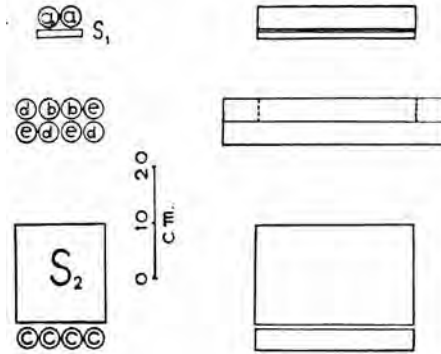


Figura 4.3: La disposizione sperimentale dei contatori nel lavoro [S2].

Le particelle penetranti e di scarsa interazione danno luogo a coincidenze triple in a , b e c . Esse avevano allora ancora il nome di mesotroni e poi di mesoni μ . Nella Figura 4.4 sono riportati parte dei risultati.

| cm Pb ($S_1 + S_2$) | Triple al min | Quintuple al min | Triple— Quintuple corr. (mes.) | Quintuple corrette (elett.) | % elett. sui mes. |
|--------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 0 | $24,1 \pm 0,2$ | — | (18) | (4,7) | (26,1) |
| 1,2 | $21,3 \pm 0,2$ | $3,3 \pm 0,1$ | 17,9 | 2,45 | 13,6 |
| 1,6 | $21,4 \pm 0,2$ | $2,9 \pm 0,1$ | 18,4 | 1,82 | 9,9 |
| 2,8 | $20 \pm 0,2$ | $2,6 \pm 0,1$ | 17,7 | 1,44 | 8,1 |
| 4,6 | $18,7 \pm 0,2$ | $1,8 \pm 0,1$ | 17,3 | 0,58 | 3,3 |
| 6,6 | $17,6 \pm 0,15$ | $1,4 \pm 0,1$ | 16,8 | 0,2 | 1,2 |
| 7,8 | $17,4 \pm 0,2$ | $1,27 \pm 0,1$ | 16,6 | 0,13 | 0,8 |
| 11,6 | $16,6 \pm 0,2$ | $0,95 \pm 0,1$ | 16,3 | 0 | 0 |

Allo spessore del Pb è da aggiungere lo spessore dei contatori (mm 3 di ottone + mm 7 di vetro).

Figura 4.4: La percentuale di elettroni osservati nei raggi cosmici rispetto ai mesoni μ dopo attraversamento di vari strati di piombo [S2].

Questa separazione tra elettroni e mesotroni era limpida in ogni misura locale. Le cose sono più complicate, come vedremo, quando si considerano eventi di grande energia, come gli sciami estesi.

Le nostre ricerche di gruppo (A. Mura, G. Salvini, G. Tagliaferri, lavori [S4, S5, S7, S8]) furono dedicate nell'estate del 1946 alla chiara separazione tra gli elettroni e la componente non elettromagnetica degli sciami estesi. Le conclusioni non furono definitive, ma si chiarì l'importanza di altri processi, oltre che lo sviluppo dello sciame elettromagnetico negli sciami estesi della radiazione cosmica. Vale la pena di ricordare le nostre parole nel lavoro [S7], perché esso contiene in nuce la catena pione π che va in mesone μ , che divenne chiara nel 1948: "La presenza di mesoni negli sciami estesi è stata studiata in linea teorica da Hamilton, Heitler e Peng [3]. Questi autori considerano a) la formazione contemporanea sia di mesoni di vita media 10^{-8} secondi, i quali danno origine immediatamente a quegli elettroni di disintegrazione che possono essere primari dello sciame esteso, sia di mesoni di vita media di circa 10^{-6} secondi che si accompagnano allo sciame in cascata b) la creazione di mesoni per interazione dei fotoni con i protoni. Con la nostra disposizione e alla nostra quota sarebbe attendibile una prevalenza dell'effetto b). Un processo di tal tipo sembra trovare anche conferma nei lavori sperimentali di J. Tabin [4] e nella bibliografia ivi citata) che ha studiato l'eventuale produzione di mesoni da agenti non ionizzanti (fotoni). Questi fotoni hanno una probabilità relativamente elevata, dell'ordine dell'1%, di produrre mesoni in uno strato di piombo sovrapposto. Le misure di Tabin si riferiscono alla produzione di mesoni singoli; egli trova che nei mesoni prodotti c'è un eccesso di mesoni lenti rispetto allo spettro originario" [S7].

Ho riportato questa pagina perché in essa, e nella bibliografia raccolta, c'è una anticipazione di quello che presto, prima del 1950, avremmo trovato alla Testa Grigia. A volte i risultati vengono giù generosi come un acquazzone che ci ristora (la scoperta dei mesoni π , delle altre particelle nucleari, dei quark). Ma ci sono nuvole e nubi che lo preannunciano, che molte volte ci sfuggono.

Rileggendo oggi, a distanza di sessant'anni esatti, le nostre ricerche di allora, si ridesta in me quel senso dell'attesa di un nuovo che doveva venire, che ha illuminato tutti i miei anni (1946–1951) dedicati ai raggi cosmici. Gli sciami osservati arrivavano certamente alle massime energie concepibili per una particella iniziale di almeno 1000 GeV, ed erano formazioni discendenti in cascata da un unico primario. La struttura degli sciami dell'aria

era chiaramente complessa, e c'era un grosso problema per tutti: quello dell'origine e dell'energia dei raggi cosmici.

Nella Figura 4.5 sono riportati nell'ordine: uno sciame rivelato dalle coincidenze triple, tracce di particelle fortemente ionizzanti e una stella a due rami generata nel gas della camera. La camera di Wilson era magistralmente curata da Antonino Mura.

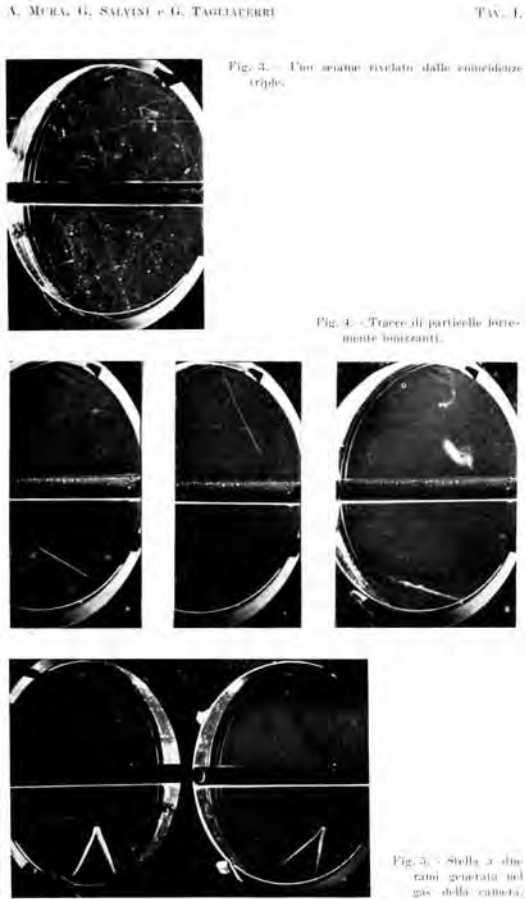


Figura 4.5: Figure 3, 4 e 5 del lavoro [S4].

Un primo chiarimento sulla struttura fondamentale degli sciami venne dalle ricerche effettuate a Lago d'Inferno, nel 1947. In questa seconda spedizione Tagliaferri ed io approfondimmo il problema della componente penetran-

te. Infatti realizzammo un sistema odoscopico di contatori di Geiger che permetteva di distinguere i singoli contatori che erano stati colpiti da una particella ionizzante dei raggi cosmici. Con questo apparato potemmo osservare la produzione multipla di più particelle dello sciame anche sotto uno strato di 10–15 cm di piombo. Questo strato era sufficiente ad impedire l'arrivo degli elettroni o dei fotoni dall'aria, mentre poteva essere facilmente superato dalla componente penetrante non elettromagnetica, che produceva quelle interazioni multiple.

Nella Figura 4.6 è data la generale disposizione sperimentale; i rettangoli a contorno tratteggiato indicano le posizioni dei due castelli di Pb e Fe.

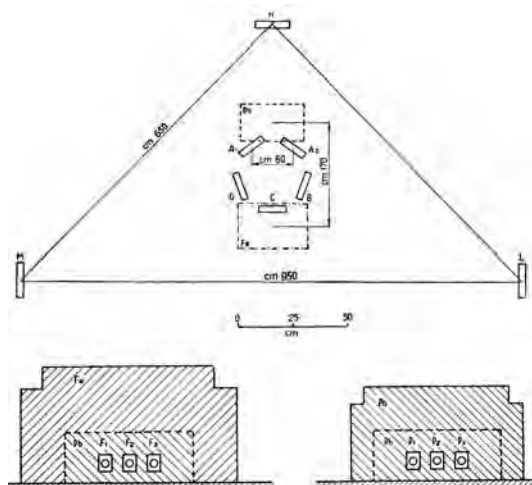


Figura 4.6: Figure 1 e 2 del lavoro [S6].

L'analisi degli eventi con contatori P_1 P_2 P_3 isolati e in coincidenza (ed analogamente per i contatori sotto il ferro) permise di stabilire l'esistenza di sciame locali che si producevano nel Pb e nel Fe sovrastante. La scelta di due diversi assorbitori, Pb e Fe, permise un primo confronto delle sezioni d'urto di produzione di questi sciame locali per diversi numeri atomici. In questo lavoro [S6] e in particolare nell'annuncio su *Physical Review Letters* [S16] venivano presentati un insieme di risultati che permise di evidenziare l'esistenza di una "Local production of penetrating particles in extensive showers".

Insieme al nostro articolo pubblicato su *Physical Review* [S11], questi lavori

destarono notevole interesse, particolarmente in L. Jánossy e A. Broadbent. Espressero dubbi G. Cocconi e K. Greisen. Riporto quanto fu scritto da me e Tagliaferri sul problema: “In a previous letter on Phys. Rev. [S11] we reported that associations occur in the side distribution of the penetrating particles of extensive showers, and we inferred therefrom that the penetrating particles are partly produced in the absorbers, and in groups. A similar result was obtained by Broadbent and Jánossy, while Cocconi and Greisen have recently disagreed with our conclusions. Further examination of our data confirms our earlier belief, and suggests some explanation for resolving the disagreement” [S16].

Possiamo confermare oggi che la produzione locale di particelle per via non elettromagnetica, ma nucleare, è oggi chiaramente stabilita. Questi risultati furono un immediato sprone per nuove ricerche nostre e di altri autori immediatamente successive.

Le ricerche a Lago d’Inferno portarono dunque a confermare che i raggi cosmici producevano interazioni non solo elettromagnetiche, ma presumibilmente nucleari (gli eventi s) anche a quote intermedia (per noi 2100 m s.l.m.). L’interpretazione dei nostri eventi locali s non fu facile agli inizi delle nostre ricerche, nel 1947. Ma esse cominciarono a chiarirsi con l’avvento dei mesoni π . Queste sono le conclusioni che scrivemmo pochi mesi dopo: “Alla quota di 2100 m, alla quale abbiamo sperimentato, gli sciame estesi dell’aria si presentano con una struttura non semplice. Alla loro costituzione partecipa, insieme con gli elettroni e i fotoni, una componente che si manifesta con le coincidenze nei due castelli di Ferro e di Piombo. Più tipi di particelle sono probabilmente presenti in questa componente. È certo che almeno una parte di essa, quindi almeno un tipo di particella, interagisce con gli assorbitori, dando luogo a sciame non costituiti soltanto di elettroni e fotoni. Non possiamo stimare la percentuale di particelle penetranti già presenti nell’aria; ci risulta però che la produzione locale è percentualmente maggiore negli sciame di minore densità. Nelle nostre condizioni sperimentali le particelle che costituiscono la componente penetrante ammontano a circa l’1% del numero totale delle particelle dello sciame esteso. Questa percentuale è definibile con precisione solo nell’ipotesi che le particelle penetranti siano già nell’aria, e che il processo di produzione locale porti un contributo trascurabile. A differenza di altri autori noi non riteniamo che questo sia il caso. Comunque la percentuale da noi valutata con gli stessi loro metodi è coerente con i loro risultati e si mantiene all’incirca

costante in gruppi di sciami di diversa densità media (da 330 particelle/m² a 130/m²). In prima approssimazione ci è possibile isolare gli eventi dovuti a produzione locale di particelle penetranti, e stabilire che anche per questi eventi il Ferro ed il Piombo sono circa equivalenti in g/cm². Tutti i fatti da noi osservati non contraddicono l'ipotesi che la componente penetrante degli sciami dell'aria sia un miscuglio, in varie percentuali, di nucleoni e mesoni. Limitandoci alle particelle e alle interazioni sinora note, è da ritenere che le particelle che generano gli sciami negli schermi siano nucleoni (ed eventualmente mesoni π); che questi sciami siano sciami penetranti e sciami misti; e che siano più probabilmente mesoni μ le particelle penetranti già presenti nell'atmosfera, data la loro bassa interazione nucleare e l'elevata vita media. Dalle nostre misure, fatte ad una sola quota, non appaiono infine ragioni per introdurre nuove particelle (mesoni λ) o nuovi processi (produzione di gruppi di particelle penetranti da fotoni: dobbiamo però ricordare che non disponiamo di argomenti sufficienti per una discussione in proposito" [S18].

Si trattava quindi di chiarire queste interazioni con altre esperienze; era necessaria per questo la camera di Wilson. Questo fu l'obiettivo delle nostre ricerche successive effettuate alla Testa Grigia sul Plateau Rosa del Monte Cervino, a tremilacinquecento metri.

Contemporaneamente al lavoro con Tagliaferri, io portai avanti a Milano e a Lago d'Inferno, una ricerca [S10] su "La distinzione delle componenti della radiazione cosmica e la frequenza relativa dei mesoni lenti", con l'appoggio dei tecnici dell'Istituto. Da queste misure si è ricavata, sino ad un momento di $3 \cdot 10^8$ eV/c, la curva di assorbimento dei mesoni a Milano (120 m sul livello del mare) e a 2100 metri; si ricava come aumenta con l'altezza la frequenza dei mesoni lenti. La disposizione sperimentale impiegata è molto simile a quella presentata nel lavoro [S2]. Con essa si individuava nella radiazione cosmica il contributo preciso dei fotoni e degli elettroni che venivano dall'aria. Debbo ricordare che in Milano c'era una officina ben attrezzata, grazie all'opera, in lunghi anni di laboratorio e di insegnamento, di Polvani, Bolla, Cocconi. Questa ricerca venne premiata come il miglior lavoro pubblicato in quell'annata sul *Il Nuovo Cimento*.

Fermiamoci adesso un momento per ricordare la scoperta di Conversi, Pancini, Piccioni del 1947, che di fatto avviò alla scoperta dei mesoni π e orientò tutta la ricerca futura, sia la nostra alla testa Grigia che la mia, prima da solo, poi con mia moglie Costanza Catenacci e Young Kim negli Stati Uniti.

4.4 La scoperta di Conversi, Pancini e Piccioni

La scoperta di Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni [11] si può considerare una svolta storica delle nostre conoscenze elettromagnetiche e nucleari. Per un chiarimento su di essa si può vedere il mio testo “La vita di Oreste Piccioni e la sua attività scientifica in Italia [6].

Noi milanesi non abbiamo merito di questa fondamentale scoperta; ma non c'è dubbio che quando arrivò nel 1948, essa orientò immediatamente le nostre ricerche, e permise di dare un quadro più completo della fisica alle altissime energie. Fatemi dire due parole su questa scoperta del gruppo di Roma.

Il ruolo dei mesoni μ nella radiazione cosmica era veramente oscuro negli anni 1941–1946. Era da pensare che i muoni fossero prodotti ad alta quota nelle interazioni dei primari arrivati sull'atmosfera. Ma essi sembravano privi di interazioni nucleari nel loro sviluppo, piuttosto simili nel loro comportamento ad elettroni di massa maggiore. Questo rendeva difficile interpretarli come particelle nucleari prodotte nell'urto nucleone–nucleo.

C'è da dire che per merito del fisico teorico Yukawa, nel 1935, ben prima delle storie di raggi cosmici che stiamo trattando, si era avanzata l'ipotesi che potesse esistere una particella, positiva o negativa, che spiegasse le interazioni nucleari di alta energia. Divenne ovvio pensare per alcuni anni che i muoni fossero proprio i mesoni auspicati da Yukawa.

Poiché i mesoni prodotti erano sia di carica positiva che negativa, era da pensare che almeno i mesoni di carica negativa, non respinti dalla carica elettrica positiva dei nuclei, dovessero essere riassorbiti da tutti i nuclei alla fine del loro percorso.

Ebbene, Conversi, Pancini, Piccioni dimostrarono che non era così: anche i muoni negativi non vengono riassorbiti dai nuclei più leggeri. Questo risultato meravigliò i migliori fisici, sicché si pensò presto che occorreva un intermediario dotato di proprietà nucleari per legare i mesoni μ alle forze nucleari. Furono mesi intensi, con nuove ricerche, particolarmente con la nuova tecnica delle emulsioni nucleari. La soluzione straordinaria e risolutiva venne fuori dalle osservazioni del gruppo di Bristol (C. M. Lattes, H. Muirhead, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell): i mesoni μ – i muoni – sono il prodotto di decadimento dei veri mesoni nucleari, i pioni di Yukawa. Essi, i mesoni μ , o muoni, sono privi di interazioni nucleari [12].

La catena è quella riportata in Figura 4.7: i pioni di Yukawa sono prodotti nelle interazioni nucleari, e quelli carichi hanno una vita media - a riposo -

di 10^{-8} secondi; dal decadimento del pione nasce - insieme ad un neutrino - il mesone μ , nuclearmente sterile.

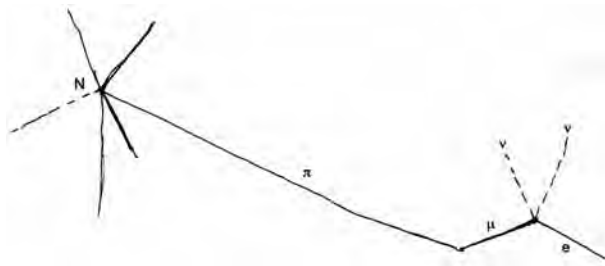


Figura 4.7: Decadimento del mesone π .

Erano dunque nati i pioni, rapidi, decisivi intermediari protagonisti delle vicende elettromagnetiche e nucleari della radiazione cosmica, e di tutti i processi cosmici ed astrofisici del nostro universo.

Questa realtà nuova venne immediatamente assimilata da noi milanesi, ed alle proprietà dei mesoni π (pioni) vennero dedicate le nostre ricerche successive, dalla fine del 1948 in poi.

4.5 Le ricerche alla Testa Grigia.

Le ricerche successive furono essenzialmente rivolte alle interazioni nucleari prodotte in camera di Wilson e negli assorbitori, essenzialmente di Carbonio e di Piombo. Esse si svolsero a partire dall'estate-autunno 1948 al Laboratorio della Testa Grigia, 3500 m sul livello del mare, Latitudine $45^{\circ} 56'$ Nord, Longitudine $7^{\circ} 46'$ Est. La prima serie di ricerche fu firmata da Lovati, Mura, Salvini e Tagliaferri. Si era aggiunto infatti al nostro gruppo il mio compagno di laurea (1942) Antonio Lovati [S14, S15, S19, S21]. Essi dimostrarono con evidenza la natura locale e nucleare delle interazioni non puramente elettromagnetiche degli sciami estesi.

Il quadro era ancora incompleto, ma ormai sufficientemente chiaro. Ne fa testimonianza il mio lavoro di sintesi "Sulla struttura degli sciami estesi dell'aria" [S20]. In questo lavoro sono riassunti i risultati sugli sciami estesi, ormai chiaramente definiti nella loro struttura complessa, chiarendo la funzione dei mesoni π e di altri possibili componenti nucleari, ed assumendo uno sviluppo in cascata anche per le esplosioni nucleari di energia elevata.

In questo sviluppo si è trovato un cammino libero medio per urto nucleare dell'ordine di trecento grammi per centimetro quadrato. A pagina 2 di questo lavoro io scrissi: “Le ricerche in camera di Wilson compiute da Lovati, Mura, Salvini e Tagliaferri dimostrano che le particelle penetranti prodotte in una esplosione nucleare (mesoni e nucleoni) possono dare luogo a nuove esplosioni simili alle precedenti (a parte la molteplicità e l'energia) e che il cammino libero medio per la produzione di nuove esplosioni, mediato tra tutte le particelle penetranti di una esplosione nucleare, è dell'ordine di trecento grammi per cm^2 ”. E nel seguito è scritto ancora: “Le esplosioni nucleari si sviluppano in tal modo in cascata. . . I risultati finali di queste interazioni sono i mesoni μ , e gli elettroni ed i fotoni; precisamente si trova che, per energie E_0 molto grandi, almeno il 50% dell'energia viene spesa nella produzione di elettroni e di fotoni” [S20].

Retrospectivamente osservo che avrei dovuto dire: elettroni, fotoni, neutrini. Questa mia sintesi dell'attività di ricerca del nostro gruppo di Milano non può dare una sufficiente visione delle ricerche intense nel mondo, con camere di Wilson, camere di ionizzazione e con emulsioni nucleari. Una chiara sintesi dei risultati mondiali sulle interazioni nucleari dei raggi cosmici si trova nel libro di Bruno Rossi *High Energy particles*, al capitolo 8, alla pagina 388 e seguenti [8]). I nostri risultati pubblicati nel 1950 [S25] sono ivi discussi e messi a confronto con altri. Con queste ricerche, ormai distribuite su tutti i continenti si arrivò ad una descrizione coerente dello sviluppo e della natura dei raggi cosmici ad ogni energia e si delinearono i limiti dello sviluppo in cascata degli eventi nucleari in diversi elementi, Al, Pb, Fe. Possiamo qui osservare che l'evidenza delle proprietà nucleari delle interazioni locali era già stata messa in evidenza nel 1948 da nostri precedenti lavori [S14]. Ricordiamo che in quella fucina delle interazioni elementari non potevano mancare i neutroni: essi vennero osservati e studiati in alcune classiche misure di Vanna Tongiorgi, Giuseppe Cocconi e collaboratori [9].

Voglio qui riportare esempi dell'ampia testimonianza dei nostri lavori [S19, S21, S25, S26] riportata nel libro di G. D. Rochester e J. G. Wilson “Cloud chambers photographs of the Cosmic Radiation” [10] attraverso alcune nostre foto e le relative didascalie. Nella foto di sinistra della Figura 4.8 si vede una particella penetrante che interagisce nel quinto piatto (carbonio). Si osservano particelle penetranti, forse mesoni, ed almeno due protoni. Nella foto di destra si osserva una forte interazione in un piatto di piombo. Im-

mediatamente nei piatti successivi si sviluppa uno sciame elettromagnetico, dovuto ai mesoni neutri prodotti.

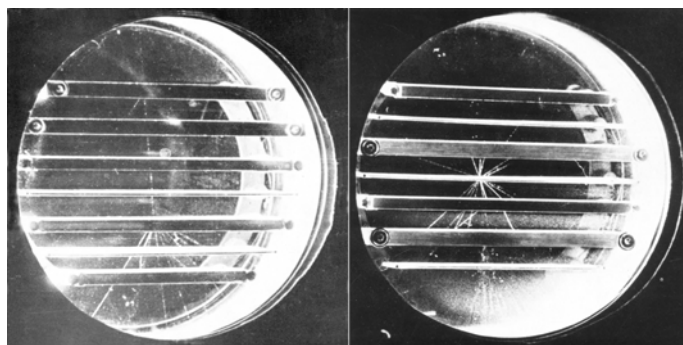


Figura 4.8: Interazione di una particella penetrante con l'assorbitore di carbonio (a sinistra) e sciame elettromagnetico generato nel piombo (Tavole 78 e 79 del lavoro [10]).

Queste fotografie furono prese alla Testa Grigia, ad una altezza di 3500 metri in una camera di Wilson di diametro 32 cm, illuminata per una profondità di 10 cm. La camera era comandata da una disposizione di contatori per selezionare gli sciami penetranti, secondo le indicazioni raccolte dai lavori precedenti. La disposizione scelta dei contatori ha favorito grandemente la rivelazione delle interazioni nucleari. La camera conteneva sette piani di assorbitori, di carbonio e di piombo. L'uso di piatti di ugual massa, ma di piombo e carbonio, era inteso a permettere un confronto dei prodotti di una interazione nucleare di nuclei di basso ed alto numero atomico in condizioni confrontabili.

Nella prima immagine della Figura 4.9 si vede uno sciame di particelle dell'aria, e una di esse produce un evento di alta energia nel secondo piatto, con particelle nucleari e uno sciame elettromagnetico prodotto. Nella seconda si vede l'arrivo di un intenso sciame dell'aria, con interazioni confuse nel primo piatto, e nucleari nel successivo.

Era evidente (siamo alla fine del 1949) che negli sciami della radiazione cosmica era presente una varietà di interazioni e che l'interpretazione era molto complessa. Questo spiega la tendenza mondiale, dagli anni cinquanta, a costruire acceleratori di alta energia in Europa e negli Stati Uniti. Questi risultati vennero ricordati e si inquadrarono chiaramente nelle analisi globali degli sciami in cascata di Bruno Rossi nel libro citato.

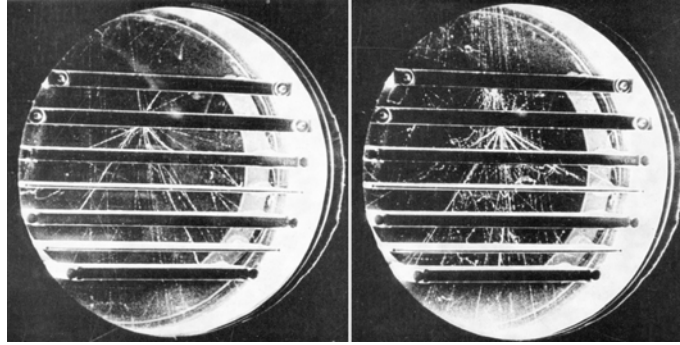


Figura 4.9: Eventi di alta energia con produzione, rispettivamente, di uno sciame elettromagnetico e arrivo di uno sciame dall'aria (Tavole 86 e 87 del lavoro [10]).

Voglio ricordare che il rapporto umano tra noi milanesi e tutti i fisici italiani e stranieri è stato sempre continuo ed amichevole, ognuno con il suo proprio carattere. Io forse ero il più impetuoso. So che devo molto ai miei colleghi ed amici di Milano, dai quali molto ho imparato. La camera di Wilson, che fu di fondamentale importanza nelle nostre scoperte del 1949, venne in particolare installata da Antonino Mura, che purtroppo morì nel 1951 per una insanabile malattia insorta per cause di guerra.

I nostri risultati in camera di Wilson apersero un problema di fondamentale interesse: studiare il modo di produzione delle nuove particelle nucleari (protoni, neutroni, pioni ed altri adroni) nell'urto nucleone-nucleo e fotone-nucleo ad alta energia. Si noti che l'urto elementare nucleone-nucleo in laboratorio (cioè urto protone-idrogeno) non era ancora disponibile; venne dopo il 1953, con il Cosmotrone di Brookhaven e le camere a bolle e a idrogeno.

Ho ancora nella memoria, durante un convegno sui raggi cosmici a Como nel 1949, una discussione accesa, tra due grandi della fisica delle particelle elementari, Werner Heisenberg e Walter Heitler sulla interpretazione di alcune foto in camera di Wilson raccolte da noi milanesi. La scelta alternativa era tra una cascata nucleare nello stesso nucleo, di nucleone in nucleone, senza produzione multipla di particelle nell'urto elementare nucleone-nucleone, e la possibilità di produzione multipla di più pioni in ciascun urto elementare. In realtà c'erano entrambi i fenomeni, ma nelle nostre foto non c'era ancora sufficiente evidenza di produzione multipla elementare, come Heisenberg cercava: i famosi *Jets*, previsti anche da Feynman, vennero osservati in



Figura 4.10: Basilea, 1949: Giorgio Salvini (al centro), Bruno Ferretti (a destra), Edoardo Amaldi (a destra, in seconda fila) e Guido Tagliaferri (a sinistra, in seconda fila); vicino a lui Antonio Lovati.

seguito. Questa evidenza divenne chiara più tardi, insieme alla scoperta dei bosoni W , Z^0 trenta anni dopo. Queste sono le famose ricerche dei gruppi UA1 e UA2 del CERN, alle quali ho partecipato con continuità dal 1979 al 1989. Esse sono riportate nel parziale elenco dei miei lavori qui allegato. Con esse si chiarì la fisica alle alte energie, analizzando sino ad una energia di 600 GeV nel centro di massa quelle interazioni protone-antiprotone che i raggi cosmici non potevano dimostrare.

4.6 L'invito negli Stati Uniti

Alla fine del 1949 io fui invitato negli Stati Uniti, e vi andai volentieri, perchè avevo voglia di cambiare e di vedere altre scuole. I miei colleghi continuarono quelle ricerche alla Testa Grigia e a Milano, con risultati ancora

brillanti.

Volevo anche costringermi ad una scelta definitiva tra due attività che avevo portato avanti nel 1946 – 1948: i raggi cosmici e lo studio delle reazioni nucleari a catena neutrone– nucleo di Uranio che avevano aperto la strada a nuove sorgenti di energia (reattori nucleari, esplosioni atomiche). Le notizie arrivate dall’America nel 1945–1946 dell’esplosione atomica a Hiroshima e a Nagasaki erano sconvolgenti, se non del tutto inattese. Insieme a Carlo Salvetti e a Mario Silvestri (1946) decidemmo di studiare la realizzazione di un reattore nucleare per usi pacifici. Il nostro esame portò alla conclusione che era possibile realizzare un prototipo di reattore nucleare in Italia, come fonte di energia elettrica per il Paese. Era assolutamente lontano da noi il pensiero di costruire una bomba nucleare, ma eravamo convinti che un Paese moderno doveva orientarsi ad avere reattori nucleari capaci, attraverso la scissione nucleare dei nuclei pesanti, di fornire una valida alternativa alla necessità di acquistare petrolio dai paesi più ricchi e dotati. Questa iniziativa sfociò nel CISE, Centro Italiano Studi ed Esperienze, fondato nel 1946 a Milano da Carlo Salvetti, Mario Silvestri, Giuseppe Bolla, direttore del Centro, e Giorgio Salvini. Di esso si è raccontato altrove in una ricca bibliografia. Ricordo in particolare il libro a cura di Giovanni Paoloni “Energia, ambiente, innovazione, dal CNRN all’ENEA” [13].

Tornando ai miei propositi di accettare l’invito americano, provo a dire il motivo ispiratore delle mie nuove ricerche negli Stati Uniti, e precisamente all’Università di Princeton, New Jersey. Io ricevetti l’invito per un anno, per due, per quanto volevo, da alcuni fisici americani, tra i quali John Wheeler e George Reynolds. Fui aiutato nella mia presentazione da Giuseppe Cocconi, Professore all’Università di Cornell, e da Bruno Rossi. Rossi era ormai famoso in America, dopo la sua cacciata dall’Italia nel 1938 per le vergognose leggi razziali fasciste, per i suoi fondamentali risultati sulla natura della radiazione cosmica, e sulla misura della vita media dei muoni. Compresi che non c’erano stretti limiti finanziari nella scelta dei mezzi sperimentali.

Era ormai chiaro che nello studio dei raggi cosmici si potevano trovare le leggi fisiche fondamentali del nostro Universo, elettromagnetiche, nucleari, forse gravitazionali. Occorrevano strumenti precisi per studiare la natura delle particelle, la loro probabilità di produzione, i cammini liberi medi, la molteplicità in quelle interazioni locali prodotte in arrivo negli assorbitori da noi preparati. Era aperto il problema dei cosiddetti pioni neutri: l’origine

4. *Giorgio Salvini*

e l'abbondanza di produzione dei mesoni neutri, e come contribuiscono ai fotoni ed agli elettroni, abbondanti come componente isolata, e negli sciami estesi.

Nel novembre del 1949 arrivai per nave a New York e poi a Princeton, ove era già accesa una attività di raggi cosmici ancora priva di precisi orientamenti.

Io proposi un programma dettagliato, che era la continuazione del mio lavoro in Italia. Esso era centrato sulla generale natura della radiazione cosmica, con particolare riguardo alla rivelazione dei pioni carichi e neutri, e al loro contributo relativo alla produzione delle componenti elettromagnetiche degli sciami estesi. L'analisi attenta delle interazioni nucleari ed elettromagnetiche era ormai il problema aperto delle particelle elementari di alta energia. Per raggiungere questo obiettivo era necessario un nuovo strumento: una camera di Wilson che contenesse un rivelatore per segnalare gli eventi relativi a interazioni nucleari di qualsiasi energia. Montai uno strumento originale per questo scopo: una camera di Wilson comandata da cristalli di ioduro di sodio inseriti all'interno, osservati da fotomoltiplicatori che coi loro segnali comandavano l'espansione della camera. La camera aveva una regione illuminata di $46 \times 46 \times 20$ cm³. La disposizione sperimentale è data in Figura 4.11.

Tre cristalli di ioduro di sodio ciascuno $7 \times 10 \times 0.6$ cm³ vennero usati come contatori a scintillazione. Erano avvolti con un foglio di alluminio e vetro, montati come si vede nella figura in un piatto di alluminio. La luce emessa dal cristallo era raccolta da sei fotomoltiplicatori 1P21. La tensione dei fotomoltiplicatori era regolata in modo da rivelare eventi che producessero una ionizzazione nel cristallo di almeno 12 MeV. Questa perdita di energia è molto più bassa della perdita di energia di una stella nucleare nel cristallo. D'altra parte è un valore che discrimina dagli abbondanti raggi cosmici come i mesoni μ , che attraversano il cristallo con una perdita di energia minore di 4 MeV.

L'apparato funzionò subito, e piuttosto bene. A distanza di tempo mi meraviglio del mio troppo solitario coraggio sperimentale. Se fossi entrato in una squadra sperimentale, avrei fatto meglio, e forse avrei raggiunto maggiori risultati scientifici.

Il lavoro di preparazione e di imballaggio degli strumenti durò circa un anno, e nella primavera del 1951 ero pronto per la spedizione ad alta quota, sulle montagne del Colorado.

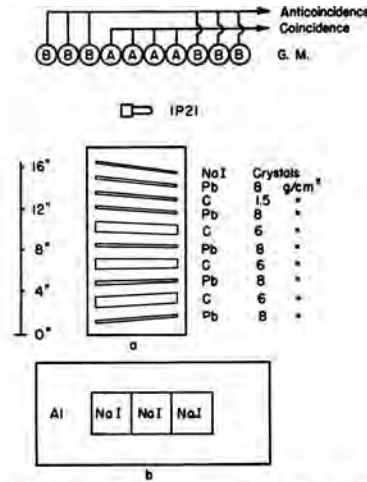


FIG. 1. (a) Crystals and plates assembly in the cloud chamber.
(b) Top view of the Al plate containing the NaI crystals.

Figura 4.11: Disposizione sperimentale della camera di Wilson comandata da cristalli di ioduro di sodio (Figura 1 del lavoro [S29]).

Nell'aprile del 1951 ero tornato per un mese in Italia, e a Milano avevo sposato Costanza Catenacci. Tornai in America con lei, e portammo questa originale camera di Wilson all'osservatorio di raggi cosmici di Echo Lake, nel Colorado, a 3500 metri sul livello del mare. Mia moglie Costanza, brillante laureata in Fisica all'Università di Milano, relatore il prof. Carlo Salvetti, si dedicò insieme a me allo sviluppo e all'analisi dei dati. Furono mesi densi di risultati, faticosi, bellissimi nel ricordo di quelle montagne, delle nuove conoscenze, e degli scienziati incontrati.

Nel periodo di Echo Lake, e poi al mio ritorno a Princeton, mi affidarono un giovane fisico coreano, Young Kim, oggi si direbbe un dottorando. Egli imparò presto, lavorò con me e con lui pubblicai i lavori [S28] e [S29]. Era molto bravo. Negli anni sessanta Young Kim si è distinto negli Stati Uniti come fisico nel campo dello stato solido.

Le ricerche di Echo Lake portarono a precisi risultati sui mesoni π emessi nelle esplosioni nucleari. Si poté confermare che i pioni neutri si disintegravano essenzialmente in due fotoni, ed erano la fonte principale della cascata elettromagnetica degli sciami estesi, come i pioni positivi e negativi erano la fonte dei mesoni μ e dei neutrini.

4. Giorgio Salvini



Figura 4.12: Giorgio Salvini e Costanza Catenacci durante una gita nel 1951 (Echo Lake, Colorado).

Si potè confermare che la frequenza dei pioni nelle interazioni nucleari di alta energia concordava con le previsioni di Enrico Fermi. In particolare scrivemmo nella nostra nota: “The neutral π^0 mesons are definitely the main source of the photons associated with the nuclear events. An upper limit for the number of photons associated with nuclear events, having an origin other than π^0 decay can be set at 20%. The predictions of Fermi concerning the cross section for production of the nuclear and charged pions are confirmed. The value of the cross section for production of at least one neutral π meson is about 0.1–0.2 of the geometrical for incident

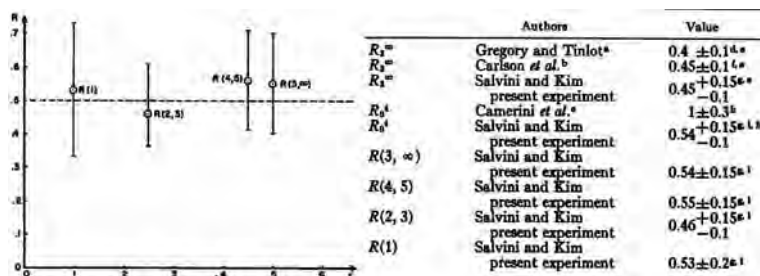


Figura 4.13: A sinistra: rapporto tra mesoni neutri e mesoni carichi in funzione della molteplicità per particelle relativistiche (Fig. 6 del lavoro [S28]). A destra: valori di R ottenuti da diversi autori (Tabella II del lavoro [S28]).

protons of 1–2 BeV. In particular – as shown in Fig. 6 [Figura 4.13] of our quoted article – the Ratio $R=\pi^0/(\pi^++\pi^-)$ of the total number of neutral mesons to the total number of charged mesons is close to 0.5 for multiplicities ranging from one to 5 or six, that is for different energies of the producing photons between 2 and 20 BeV. This result agrees with almost all the results of previous experiments, when these are corrected for the bias introduced in the selection of the events. The behaviour of R *versus* the multiplicity of relativistic particles is given in Fig. 6 [Figura 4.13]. The total energy distribution of the neutral pions seems to be close to the total energy distribution of the charged mesons” [S28].

Nella Figura 4.14 si riportano alcuni degli eventi osservati. In particolare, nella foto di destra risulta visibile un evento prodotto nel primo piatto di piombo. Questo mostra come i cristalli potevano costituire un efficiente rivelatore anche per interazioni prodotte fuori di esso.

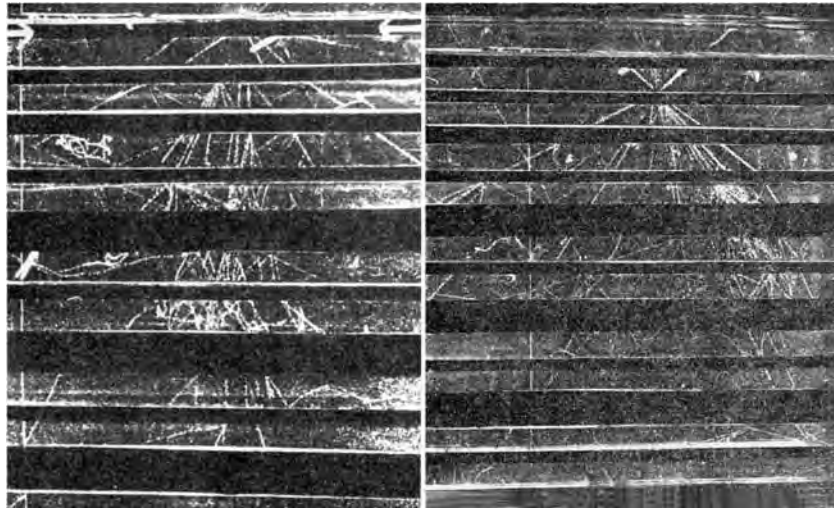


Figura 4.14: A destra: evento nucleare con creazione di un π^0 di energia superiore a 1000 MeV (Fig. 7 del lavoro [S29]).

In Figura 4.15 è riportata l’immagine della nostra camera di Wilson, e degli autori, Giorgio Salvini e Young Kim. Questi erano gli ultimi risultati delle mie ricerche dirette sui raggi cosmici. Ma prima di chiudere questo racconto del mio periodo 1945–1952, debbo ricordare due miei risultati sui

4. *Giorgio Salvini*

nuovi rivelatori di particelle, uno ottenuto a Milano nel 1946; l'altro negli Stati Uniti, appena arrivato in Princeton, nel 1949.



Figura 4.15: Giorgio Salvini e Young Kim.

4.7 Nuovi rivelatori di raggi cosmici

A Milano, prima e durante le ricerche a Lago d'Inferno (1946–1948), lavorammo sui contatori di Geiger–Müller. Essi erano tradizionalmente tubi cilindrici di ottone, attraversati da un filo, chiusi agli estremi con tappi di piceina: era una tecnica ereditata da Giuseppe e Vanna Cocconi, e dai romani. La tenuta di vuoto era garantita per alcuni mesi. Noi pensammo, su suggerimento di Giuseppe Bolla, di chiudere i nostri contatori di Geiger, cilindri di ottone, in un involucro di vetro ad alta tenuta di vuoto, con fili che uscivano con opportune saldature rame – vetro per collegarci agli amplificatori e alle coincidenze esterne. Io imparai l'arte della saldatura vetro metallo a Milano, presso vetrerie specializzate.

Questa nuova disinvoltura tecnica ci permise di variare le forme dei nostri

contatori. In particolare sviluppai contatori di Geiger di forma sferica, come indicato in Figura 4.16.

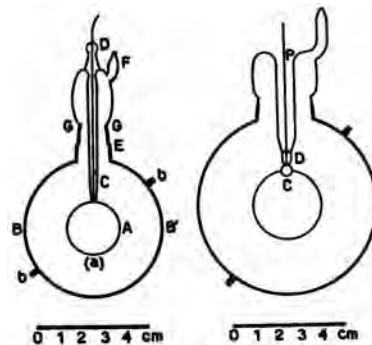


Figura 4.16: Contatori Geiger–Müller di forma sferica.

Questi contatori vennero da me pubblicati sulla rivista americana *Review of Scientific Instruments* [3] e [9]. Essi vennero impiegati per rivelare le particelle ionizzanti che arrivavano da una ampia regione angolare, pari all'angolo giro o a metà di esso. Si potè verificare che essi avevano alta efficienza in tutte le direzioni. Questi contatori sferici e proporzionali vennero impiegati a Milano nello studio della scissione dell'Uranio, per misurare i neutroni emessi nella scissione.

L'altro risultato (scintillatori liquidi) è più notevole per l'impiego che ebbe, e va diviso tra più autori. Conviene ricordarlo con ordine. Esso venne pubblicato a nome F. Harrison, G. Reynolds, e G. Salvini quale lettera all'Editore su *Physical Review Letters* col titolo "Liquid scintillation counters" [S23].

La scoperta discende da osservazioni sulla fluorescenza di alcune soluzioni da parte di Ageno, Chiozzotto e Querzoli [14]; noi pensammo di esaminare la fluorescenza con fotomoltiplicatori e provammo varie soluzioni in un liquido opportuno. Il nostro fine era di trovare oggetti che si potessero utilizzare per la loro fluorescenza in modo simile agli ormai classici cristalli fluorescenti di ioduro di Sodio.

La nostra disposizione per osservare le scintillazioni nel campione è visibile nella Figura 4.17.

Si misuravano le coincidenze tra fotomoltiplicatori tipo 1P21 disposti ai lati del campione, registrando i raggi cosmici e la radioattività di ambiente. Il

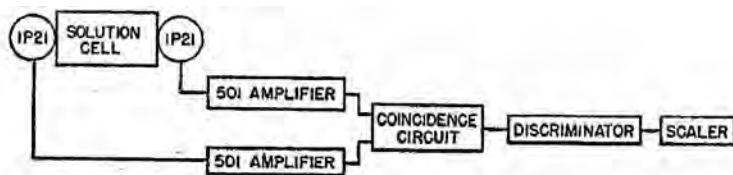


FIG. 1. Coincidence method for measurement on solutions and crystals.

Figura 4.17: Figura 1 del lavoro [S23].

| LIQUID OR SOLUTION | EFFICIENCY |
|--|------------|
| Benzene | 0.7 |
| Benzene at 70°C | 0.7 |
| Ether | 0.7 |
| M-Xylene | 0.08 |
| Naphtalene (40g) in Benzene (100 cc) | 0.15 |
| Naphtalene (35 g) + Anthracene (0.35 g) in Benzene (90 cc) | 0.36 |
| Terphenyl (2g) in Benzene (100 cc) at 60°C | 0.84 |
| Terphenyl (0.5 g) in M-Xylene (100 cc) | 0.80 |
| Liquid Dybenzyl at 60°C | 0.4 |
| Naphtalene crystal | 0.87 |

Tabella 4.1: “Efficienza” delle varie soluzioni (a temperatura ambiente, in assenza di indicazione diversa). Tabella 1 del lavoro [A1].

confronto era fatto con un cristallo solido di naftalina, di proprietà già note. Il vantaggio era l'estensione e la libertà di forma nei liquidi in situazioni sperimentali comunque complicate. Qui venne a noi un suggerimento decisivo da parte di R. Hofstadter: sciogliere del terfenile nel benzolo. Fu la mossa fondamentale, perché osservammo una sensibilità alla fluorescenza da parte delle particelle ionizzanti, definitivamente maggiore che in ogni altro caso, ormai confrontabile con il cristallo di naftalina. Il risultato è visibile nella Tabella 4.7.

Di questa sensibilità straordinaria si rese immediatamente conto Enrico Fermi, al quale raccontammo i nostri risultati all'inizio del 1950, durante una sua visita a Princeton: egli infatti usò i nostri scintillatori al terfenile nelle sue classiche ricerche sulle risonanze pione-protone del 1953 [15]. Questa nostra scoperta venne brevettata dall'Università di Princeton, ma non produsse per noi vantaggi economici. Il modo ed i riconoscimenti dei nostri rivelatori liquidi vennero ricordati in una mia memoria non pubbli-

cata e in una nota pubblicata di Hofstadter. Riporto in appendice il testo della nota da me scritta nel febbraio 2005 in cui si ricordano i meriti di vari protagonisti, quali risultano da un convegno tenuto nel 1982 a Parigi [*Colloque International sur l'Histoire de la Physique des Particules, Journal de Physique, Suppl.* (Paris) 43 (2) 1982].

Gli scintillatori liquidi vennero usati nella radiazione cosmica ed in particolare nella rivelazione degli sciami estesi di grande energia (B. Rossi e collaboratori). Essi vennero successivamente soppiantati dagli scintillatori plastici, anch'essi facilmente adattabili ad ogni occorrenza. Ritorno adesso alle mie ricerche sui raggi cosmici

4.8 Alcune considerazioni sui raggi cosmici

Nel 1951, in ottobre, tornai con Costanza da Echo Lake a Princeton. I miei risultati di Echo Lake vennero presentati e apprezzati dai colleghi e dai maestri di Princeton: Wheeler, Wigner e Einstein.

In quello stesso periodo mi invitarono a partecipare a un concorso a cattedra di fisica, in Italia. Vinsi il concorso nel 1951; non avevo ancora trentun anni. Mi ritrovai con l'offerta di una cattedra a Cagliari. Decisi con Costanza di ritornare in Italia. Credo di aver avuto in mente vari e un po' confusi progetti. Furono le numerose rapide vicende successive della storia scientifica italiana, che giustificarono le mie scelte. Venni subito invitato a Cagliari, a Pisa, e a Milano. Nel 1955 venni chiamato a Roma, che divenne e rimase la mia sede finale.

I miei ricordi degli anni in America sono vivissimi, e sono grato alla mia sorte. Conobbi tutti i maggiori fisici americani o residenti in America, e fui in rapporto abbastanza continuo con loro: Wigner, Oppenheimer, Wheeler, e sopra tutti Bruno Rossi ed Enrico Fermi. Avevo già incontrato Fermi, in occasione del convegno di Como e di Basilea. Anzi, ricordo il commovente incontro tra Fermi ed Heisenberg. Fermi entrava da una parte dell'Aula Magna, Heisenberg dall'altra. Si erano ben conosciuti da giovani, non si erano più visti, mi pare, per la separazione della guerra. Fu un grande incontro, poco dopo si aggiunse anche Wolfgang Pauli. Rividi Fermi nel 1950 a Princeton, come ho ricordato, raccontandogli dei miei rivelatori liquidi. Quanto a Rossi, io ho avuto la ventura di godere delle sue intuizioni, e della sua sapienza.

Mi si è chiesto, al mio lasciare l'America, e al mio ritorno in Italia, perché

4. *Giorgio Salvini*

fossi tornato, e perché non fossi stato tentato dalla possibilità di restare negli Stati Uniti. Quando dissi a Princeton di voler tornare in Italia, mi fecero delle controfferte. Ma io pensai che non potevo non accettare la cattedra in Italia. Il mio paese mi aveva generosamente sostenuto, e così decisi di tornare. Come se facessi un dono al mio Paese, tanto ero sciocco e presuntuoso. In realtà oggi, a distanza di tempo (dopo più di cinquant'anni) debbo dire che fui io il fortunato.

Al mio ritorno in Italia, due grandi maestri fisici, come Gilberto Bernardini ed Edoardo Amaldi, pensarono che fossi io l'uomo adatto per fare una nuova macchina ed un nuovo laboratorio in Italia. Oggi sapete che questa fu una buona scelta, e che le cose andarono piuttosto bene. Quindi io mi debbo considerare per la terza volta un uomo fortunato. Altri avrebbero forse fatto meglio di me; è capitato a me. Debbo dire, ripensandoci, che in quegli anni ho visto poche persone lavorare con intensità, cocciutaggine, come me. Credo di essere stato un po' in quegli anni una furia lanciata. Non parliamo di qualità scientifiche eccezionali, per carità, ma piuttosto di volontà, curiosità, ambizione, e del sostegno di Costanza.

Adesso, a distanza di sessanta anni dai miei inizi, vedo in quel periodo dei raggi cosmici nel quale ho avuto la fortuna di operare, gli anni 1945–1952, una posizione enorme nella storia della fisica, della quale ho ben piccolo merito. In quegli anni i raggi cosmici sciolsero ogni loro mistero: scoprirono pioni e mesoni, aprirono il quadro delle particelle oggi inquadrato nello Standard Model, offrirono alle macchine di alta energia intervenute dopo il 1952, un quadro ormai limpido dei costituenti elementari del nostro Universo.

Certo, sentii il dolore del commiato, la notte della partenza, quando Costanza ed io salutammo Princeton nel 1952 come degli esuli. Non sapevo che ci sarei tornato presto, anche in relazione alla costruzione dell'Elettrosincrotrone italiano. E non sapevo che mia figlia Paola, che Costanza aveva in grembo, dopo ventiquattro anni sarebbe andata proprio a Princeton, sposata ad un altro italiano, destinato a diventare un notevole fisico; e non sapevo che Princeton sarebbe rimasta a noi cara per tutti gli anni futuri. Lasciavamo l'America con dei programmi ancora aperti, e la fiducia di futuri, continui contatti scientifici.

Come ho già ricordato nella mia introduzione, ho avuto il privilegio di partecipare alle ricerche sui raggi cosmici nei loro anni d'oro, 1945–1952, sino a quando la fisica delle particelle elementari è entrata nella sua pri-

ma maturità, per dare mandati precisi alla nascente fisica dei laboratori e degli acceleratori di grande energia per elettroni e protoni. Termina qui il racconto esteso sulla mia attività nei raggi cosmici.

Il racconto che precede, con appendice e riferimenti bibliografici, si riferisce alla mia attività fino al 1952.

4.9 Dopo i raggi cosmici: 1952–2006

Mi sembra conveniente dare una sintesi delle mie ricerche successive, dal 1951 al 2006, che si estendono almeno a tutto il XX secolo e che sono forse più estese ed interessanti. Esse sono scandite in diversi periodi.¹

4.9.1 Fotoproduzione e interazione elettrone–positrone

I lavori per realizzare l'Elettrosincrotrone italiano iniziarono a Pisa e Roma nel 1952, quando la sede finale, che fu poi Frascati, non era ancora stata scelta. Alla fine del 1958, una volta messa a punto la macchina, i Laboratori Nazionali di Frascati iniziarono i loro lavori di ricerca fondamentale con il sincrotrone a 1100 MeV. La costruzione e i primi successi sono ricordati nel volume *L'Elettrosincrotrone di Frascati* [16].

Tra queste ricerche ricordo in particolare i lavori dedicati alla polarizzazione del protone di rinculo nella fotoproduzione di mesoni a 800–900 MeV [44, 45, 47, 48], e le ricerche sui nuovi mesoni Eta, in particolare la sezione d'urto e l'attribuzione dei numeri quantici [54, 55, 57, 59, 62, 63, 67].

Per quanto riguarda le interazioni elettrone–positrone, mi riferisco agli anelli di accumulazione elettrone–positrone entrati in funzione con il primo prototipo AdA e con l'anello Adone che iniziò l'attività nel 1971. Il sottoscritto partecipò alla progettazione di Adone, e preparò con altri gruppi di lavoro a Frascati l'analisi sperimentale dei processi d'urto elettrone–positrone con produzione di adroni. Questo problema apparve subito di estremo interesse per tutti i fisici delle particelle elementari: si trattava di verificare con quale frequenza si producono mesoni carichi e neutri nell'urto elettrone-positrone. Che ci fosse produzione di mesoni nell'urto e^+e^- era cosa già osservata, ma era di notevole importanza verificare il modo di produzione multipla di

¹Si veda anche il colloquio di G. Salvini con L. Bonolis pubblicato nel volume *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero* [17].



Figura 4.18: Giorgio Salvini accompagna la principessa Grace e il principe Ranieri di Monaco, in visita ai Laboratori Nazionali di Frascati il 6 novembre 1959 (Archivio Foto Video L.N.F.).

più mesoni nell'urto tra leptoni, e confermare la contemporanea creazione in quelle formazioni che presero il nome di *Jet* adronici.

La verifica della produzione multipla di adroni venne nel 1971–1972 da Frascati, e in particolare ricordo i miei lavori, in collaborazione con altri, dedicati alla chiara evidenza di essa [S72, S73, S76]. In quegli stessi anni si studiarono i processi di interazione fotone–fotone a varie energie (Lavori del gruppo $\gamma\gamma$) che tornarono in accordo con le previsioni teoriche.

Nel 1974 venne, inattesa per tutti, la scoperta della J/Ψ . È di quegli anni la comprensibile amarezza per non avere osservato la famosa risonanza a 3100 MeV. Frascati lasciò un suo documento [S76] Ma dichiarò correttamente che l'osservazione di questa risonanza era avvenuta dopo essere stati allertati

dai gruppi scopritori. Ho detto amarezza, ma non mi sento di associare la mancata osservazione ad alcun senso di colpa. Nessuno, dico nessuno, poteva sospettare che a pochi passi (a pochi MeV) fuori dei limiti stabiliti di 3 GeV faticosamente conquistati da Adone, esistesse un Eldorado di inattese conoscenze che ha alimentato per anni gli studi dei nostri e di altri gruppi.

4.9.2 Scoperta e proprietà dei Bosoni intermedi W^\pm e Z^0

La storia di UA1 è la storia della scoperta dei bosoni intermedi W^\pm e del Bosone neutro Z^0 . Ricordo bene la gioia del gruppo UA1 per queste scoperte. Esse erano in realtà attese dalla comunità teorica mondiale, ma fecero apparire ormai prossimo il fine di chiudere in una rappresentazione unitaria il mondo delle particelle note e della struttura dell'Universo. In quegli anni ottanta, aprendo la finestra e guardando il cielo e la Galassia e le stelle, molti pensarono che il più era ormai fatto e non molto ancora restava da scoprire. Sono bastati gli anni critici e attenti, dal 1980 ad oggi, per scoprire che la maggior percentuale della materia del nostro Universo è fatta di una materia ancora ignota.

Un merito di UA1 è l'aver presentato i risultati con magnifiche immagini dirette degli oggetti osservati.

I lavori di UA1 pubblicati in quegli intensi anni 1978–1991 sono riportati nell'acclusa bibliografia dal numero [S80] al numero [S100]. Ritengo conveniente riportare i nomi della squadra italiana che rimase compatta per molti anni. Prendo ad esempio il lavoro [S90] del luglio 1983, che è ricordato nella sua presentazione originale in Figura 4.9.3.

In realtà esso è ormai un documento storico, che illustra lo stile del CERN in quegli anni notevoli, che hanno portato l'Europa di nuovo al primissimo piano nel panorama delle ricerche fisiche mondiali.

La squadra italiana al CERN, come si vede, era formata da vari e stabili individui. Tra essi spicca il nome di Carlo Rubbia, che in un certo senso è l'immagine del CERN e dell'Europa. A lui spetta, insieme a Van der Meer, un giusto rilievo su tutti gli altri.

4.9.3 Altri impegni (1990–2006)

Gli anni successivi, dal 1995 ad oggi, sono stati dedicati all'insegnamento, e al dovere universitario di rinnovamento degli studi e dei programmi.

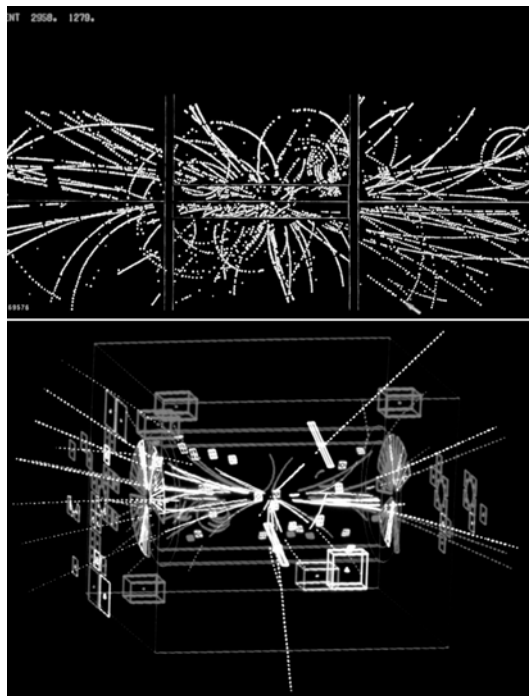


Figura 4.19: Foto in alto: Scoperta della particella W nel rivelatore UA1 in collisioni protone–antiprotone (ottobre–dicembre 1982). Foto in basso, 30 aprile 1983: decadimento di una particella Z^0 in una coppia elettrone–positrone, primo evento in cui la particella è stata visualizzata da UA1 (Foto CERN).

Nel 1994–1996 fui nominato Ministro per la Ricerca scientifica e per l’Università nel governo Dini. Mi dedicai a vari problemi, ma in particolare alla ripresa dei concorsi universitari, per la nomina di ricercatori e di professori di ogni ordine. È stato un lavoro difficile, coronato da significativi successi, per riordinare posizioni universitarie carenti da molti anni.

Adesso vorrei fare un esercizio di ciò che mi è venuto, in questi ultimi sessant’anni di ricerca. Cercherò di guardare, come da un terrazzo, i diversi sviluppi della mia vita, a partire da quel 1952, quando finì il mio periodo dei raggi cosmici.

Gli sviluppi della fisica dei fotoni e dei nuovi mesoni è stata tutta inattesa, pur con illuminazioni dal campo teorico. Si può forse pensare che la ricostruzione dei quark e dei leptoni sia stato un ammirevole lavoro dell’ingegno

umano. Ma il 1973, con la scoperta della J/Ψ arrivò a noi inattesa – massa e significato – e fu un inatteso balzo in avanti.

Volume 126B, number 5 PHYSICS LETTERS 7 July 1983

EXPERIMENTAL OBSERVATION OF LEPTON PAIRS OF INVARIANT MASS AROUND 95 GeV/c² AT THE CERN SPS COLLIDER

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

G. ARNISON¹, A. ASTBURY¹, B. AUBERT^b, C. BACCI¹, G. BAUER¹, A. BÉZAGUET^d, R. BÖCK^d, T.J.V. BOWCOCK^f, M. CALVETTI^d, P. CATZ^b, P. CENNINI^d, S. CENTRO^d, F. CERADINI^{d,i}, S. CITTOLIN^d, D. CLINE¹, C. COCHET^k, J. COLAS^b, M. CORDEN^c, D. DALLMAN^{d,i}, D. DAU², M. DeBEER^k, M. DELLA NEGRA^{b,d}, M. DEMOULIN^d, D. DENEGRI^k, A. Di CIACCIO¹, D. DiBITONTO^d, L. DOBRZYNSKI^g, J.D. DOWELL^c, K. EGGERT^a, E. EISENHANDLER^f, N. ELLIS^d, P. ERHARD^a, H. FAISSNER^a, M. FINCKE², G. FONTAINE^g, R. FREY^h, R. FRÜHWIRTH¹, J. GARVEY^c, S. GEER^g, C. GHESQUIÈRE^g, P. GHEZ^b, K. GIBONI^a, W.R. GIBSON^f, Y. GIRAUD-HÉRAUD^g, A. GIVERNAUD^g, A. GONIDEC^b, G. GRAYER¹, T. HANSL-KOZANECKA^a, W.J. HAYNES¹, L.O. HERTZBERGER³, C. HODGES^h, D. HOFFMANN^a, H. HOFFMANN^d, D.J. HOLTHUIZEN³, R.J. HOMER^c, A. HONMA^f, W. JANK^d, G. JORAT^d, P.I.P. KALMUS^f, V. KARIMÁKI^c, R. KEELER^f, I. KENYON^c, A. KERNAN^h, R. KINNUNEN^e, W. KOZANECKI^h, D. KRYN^{d,g}, F. LACAVA¹, J.-P. LAUGIER^k, J.-P. LEES^b, H. LEHMANN^a, R. LEUCHS^a, A. LÉVÉQUE^{k,d}, D. LINGLIN^b, E. LOCCI^k, J.-J. MALOSSE^k, T. MARKIEWICZ^d, G. MAURIN^d, T. McMAHON^c, J.-P. MENDIBURU^g, M.-N. MINARD^h, M. MOHAMMADI¹, M. MORICCA¹, K. MORGAN^h, H. MUIRHEAD^a, F. MULLER^d, A.K. NANDI¹, L. NAUMANN^d, A. NORTON^d, A. ORKIN-LECOURTOIS^g, L. PAOLUZI^f, F. PAUSS^d, G. PIANO MORTARI¹, E. PIETARINEN^e, M. PIMIÁ^c, A. PLACCI^d, J.P. PORTE^d, E. RADERMACHER^a, J. RANSEDELL^h, H. REITHLER^a, J.-P. REVOL^d, J. RICH^k, M. RIJSSENBEEK^d, C. ROBERTS¹, J. ROHLF^d, P. ROSSI^d, C. RUBBIA^d, B. SADOULET^d, G. SAJOT^g, G. SALVI^f, G. SALVINI¹, J. SASS^k, J. SAUDRAIX^k, A. SAVOY-NAVARRO^k, D. SCHINZEL^d, W. SCOTT¹, T.P. SHAH¹, M. SPIRO^k, J. STRAUSS¹, J. STREETS^c, K. SUMOROK^d, F. SZONCSO¹, D. SMITH^h, C. TAO³, G. THOMPSON^f, J. TIMMER^d, E. TSCHESLOG^a, J. TUOMINIEMI^e, B. Van ELK³, J.-P. VIALLE^d, J. VRANA^g, V. VUILLEMIN^d, H.D. WAHL¹, P. WATKINS^c, J. WILSON^c, C. WULZ¹, G.Y. XIE^d, M. YVERT^b and E. ZURFLUH^d

Aachen^a – Annecy (LAPP)^b – Birmingham^c – CERN^d – Helsinki^e – Queen Mary College, London^f – Paris (Coll. de France)^g – Riverside^h – Rome¹ – Rutherford Appleton Lab.¹ – Saclay (CEN)^k – Vienna^h Collaboration

Received 6 June 1983

We report the observation of four electron-positron pairs and one muon pair which have the signature of a two-body decay of a particle of mass ~ 95 GeV/c². These events fit well the hypothesis that they are produced by the process $\bar{p} + p \rightarrow Z^0 + X$ (with $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$), where Z^0 is the Intermediate Vector Boson postulated by the electroweak theories as the mediator of weak neutral currents.

¹ University of Wisconsin, Madison, WI, USA. ³ NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands.
² University of Kiel, Fed. Rep. Germany. ⁴ Visitor from the University of Liverpool, England.

Figura 4.20: Collaborazione UA1. Annuncio della scoperta dello Z^0 .

Il periodo 1975–1985, che ci portò, con W^\pm e Z^0 allo Standard Model fu un periodo tranquillo, dove parve che la fisica fosse una scienza ormai domata. Quanto al mio impegno del 1994–1995 come ministro, posso dire che l’invito ad entrare nel governo mi venne assolutamente inatteso, qualcosa che orientò la mia vita in una direzione mai considerata. Comunque, mi dedicai al problema.

Ma eccoci agli anni duemila, per dire che è nata nella scienza una nuova fase, quasi strisciante, ma pur affascinante: non sappiamo cosa ci sia oltre lo Standard Model. Molti fisici parlano di particelle inattese supersimmetriche; altri non vedono ragioni sufficienti per prevederle. Una teoria suggestiva è nata che vuole capire insieme le forze gravitazionali, nucleari, elettrodeboli. È la teoria delle stringhe, sulla validità della quale non so oggi scommettere.

Penso, con qualche nostalgia legata alla mia crescente età, che non sia oggi prevedibile a che punto saremo tra cinquant'anni. Insomma, non sappiamo con precisione cosa dire della struttura particellare dell'Universo.

E non tratto il problema della origine dell'Universo etc., per il quale è stata coniata la parola inflazione, bellissima, suggestiva, ma ancora priva di solido contenuto.

Noi non possiamo prevedere il nostro futuro, che nessuno ha ancora scritto. Navighiamo in una estesa incertezza che a volte mi appare piena di luce. Guardando al passato, possiamo capire il lavoro immenso fatto dei nostri avi e possiamo capire che presto i nostri nipoti sapranno più di noi. E forse possiamo sperare che prevalgano in noi nel corso dei millenni un'etica ed una capacità di rispetto e di altruismo che possano fermare i pericoli che oggi ci minacciano.

Appendice

Gli scintillatori liquidi. I meriti della nostra scoperta.

La comparsa degli scintillatori liquidi nella ricerca scientifica è molto interessante e complessa. Essa è stata il risultato di una sistematica ricerca delle migliori soluzioni di liquidi capaci di rivelare le particelle cariche. Queste particelle avrebbero potuto sostituire i cristalli solidi ormai impiegati da tempo, con grande vantaggio nella scelta delle dimensioni e della forma. La ricerca delle migliori soluzioni fu improvvisamente dominata da una soluzione particolare, anzi da un composto organico, il terfenile (terphenyl), che ha dato risultati straordinariamente elevati [A1]. Racconterò ora le scoperte e le applicazioni, particolarmente riferendomi alla mia testimonianza diretta.

Nel 1950 ero all'Università di Princeton invitato come ricercatore in Fisica.

Vi ero arrivato alla fine del 1949. Fermi era venuto a Princeton per un incontro con Wigner, Einstein ed altri teorici dell'*Institute for Advanced Studies*. La mattina, a colazione, lo incontrai ed egli mi chiese delle nostre ricerche sui raggi cosmici a Milano e a Princeton.

Proprio in quei giorni noi di Princeton con G. Reynolds e F. B. Harrison avevamo scoperto la straordinaria capacità di alcuni scintillatori liquidi [A1]. Era un risultato, come correttamente citai nel nostro primo lavoro, che derivava dalle ricerche sulle soluzioni effettuate da Ageno, Querzoli e Chiozzotto all'Istituto di Sanità, a Roma [A2]. Ma a noi accadde di “mettere le mani” su una soluzione particolare, la cui base era il terphenyl. La Tabella 4.7, pubblicata nel nostro primo lavoro, evidenzia immediatamente la portata della nostra scoperta: in essa sono riportate le “efficienze” di varie soluzioni, e spicca la superiorità netta delle soluzioni con terfenile, rispetto a tutte le altre sperimentate. Si noti che questa superiorità si mantenne in tutte le altre ricerche, come venne confermato dai lavori degli altri autori che citeremo. Fermi ascoltò i nostri risultati, e su un pezzo di carta prese nota dell'apparato sperimentale e della chimica piuttosto complicata. In particolare prese nota del “magico” terphenyl. Il nostro risultato uscì su *Physical Review Letters* [A1] nel mese di marzo di quell'anno 1950, e fu coperto subito da brevetto a nome nostro e dell'Università di Princeton.

Restai in America sino al marzo 1951. In America feci ricerche sui mesoni carichi e neutri della radiazione cosmica, impiegando una camera di Wilson comandata dalle interazioni adroniche rivelate con scintillatori solidi di ioduro di sodio. Tornai in Italia chiamato all'Università di Cagliari, poi andai a Pisa e successivamente a Roma, e fui presto pienamente impegnato alla realizzazione del progetto dell'elettrosincrotrone nazionale. Sicché, durante la Conferenza Rochester di Chicago, fu una piacevole sorpresa sentire che Enrico Fermi aveva utilizzato tra i primi il nostro lavoro sugli scintillatori. Si tratta della nota “Angular Distribution of Pions scattered by Hydrogen” pubblicata nel 1953 da H. L. Anderson, E. Fermi, R. Martin e D. E. Nagle [A3]. In questo lavoro, subito riconosciuto di fondamentale importanza, Fermi e collaboratori dedicarono un intero paragrafo alla descrizione degli scintillatori liquidi da loro impiegati (p.156). In esso è esplicitamente citato il magico componente terphenyl da noi scoperto. Ma nella loro nota Fermi e collaboratori hanno presentato i loro contatori a scintillazione come derivanti dalle ricette studiate da H. Kallmann e M. Furst [A4, A5] in due note scientifiche successive alla nostra del Marzo 1950: “Fluorescence

of Solutions Bombarded with High Energy Radiation (Energy transport in Liquids)”. Esse sono due note, parte prima e seconda con lo stesso titolo, entrambe pubblicate su *Physical Review*.

Non posso fare a meno di osservare che la nostra priorità compare nel loro lavoro al limite della correttezza: in effetti citano, come anche noi abbiamo sempre fatto, il lavoro precursore di Ageno e collaboratori [A2] insieme a un articolo successivo di Reynolds e Harrison [A6] che analizzava l'emissione spettrale di vari scintillatori liquidi, citando naturalmente il nostro precedente risultato. Il nostro lavoro fondamentale, che precedeva tutto questo, viene ricordato soltanto nella forma seguente: “Terphenyl was first proposed by Reynolds Harrison, and Salvini, Phys. Rev. 78 , 488 (1950)” [A4, p. 861].

Così è necessario andare al loro lavoro successivo [A5] per trovare i nomi dei veri scopritori. Ma c'è una sorpresa. Non soltanto il riferimento è dato con ritardo inammissibile, ma è anche sbagliato, perché il mio nome si è trasformato in “Salvani”, invece che Salvini. Il nome “Salvani” fu citato in varie occasioni da H. Kallmann e dalla sua scuola. Come ho detto, ero molto impegnato con il sincrotrone nazionale italiano, e non avevo modo di occuparmi di questi dettagli meno importanti. In ogni caso li ricordo oggi, per sottolineare che la priorità della scoperta dello straordinario terfenile appartiene a Reynolds, Harrison e Salvini come pubblicato nel lavoro [A1].

Voglio ora ricordare un documento scritto circa trent'anni dopo da un indimenticabile amico, Robert Hofstadter. Nel corso di una conferenza tenuta a Parigi nel 1982 sulla storia della fisica delle particelle, durante un “Panel on Accelerators and detectors in the 1950” (*Colloque International sur l'Histoire de la Physique des Particules*, Parigi 1982) a cui partecipavano Lawrence W. Jones (Chairman), Luis W. Alvarez, Ugo Amaldi, Robert Hofstadter, Donald W. Kerst e Robert Wilson. Ugo Amaldi e altri avevano ricordato le prime ricerche sulle soluzioni liquide da utilizzare come rivelatori per le particelle. Ecco cosa disse Hofstadter, secondo quanto pubblicato nei *Proceedings*: [A7, p. 195]: “I would like to make one remark following on Ugo Amaldi's talk about the liquid scintillators, because I remember very well when Reynolds started the work on that, and when Salvini came to Princeton. I was there at that time. I had just sent in a paper on terphenol and dibenzol scintillation counters – these were inorganic and solid crystals. Salvini and Reynolds were using benzene, as I remember, and I suggested that they should use xylene. There are three kind of xylene,

ortoxylene, mataxylene and paraxylene. I knew from literature I had read that orthoxylene was by far the best. So I suggested this to Reynolds and Salvini. Reynolds came into my laboratory where I was doing the Sodium Iodide work on spectroscopy, and we got some orthoxylene. We dropped a little bit of the terphenol in, and there were the biggest pulses that anybody had ever seen with a liquid scintillator. That's a little bit to be added to the history of liquid scintillation counters”.

La nostra visita a Robert Hofstadter, che lavorava a Princeton negli anni Cinquanta, avvenne proprio poco prima della nostra pubblicazione pionieristica. Egli conosceva tutti i dettagli della nostra storia e l'interesse di Fermi per il nostro terfenile. Una storia iniziata in effetti in seguito al suo suggerimento. La sua testimonianza chiarisce la vicenda del terfenile e i meriti delle scoperte ad essa correlate. In conclusione, possiamo dire che:

– Trovammo le soluzioni di terfenile (Reynolds, Harrison, Salvini) piuttosto inaspettatamente, forse come una pepita nelle mani di un fortunato cercatore d'oro.

– L'incontro tra Hofstadter, Reynolds e Salvini, come riportato dallo stesso Hofstadter, avvenne quando noi tre stavamo pubblicando i nostri risultati su *Physical Review Letters*.

– La nostra pubblicazione venne dopo la nota di Ageno, Chiozzotto, Querzoli, che ebbero il merito di provocare l'interesse negli scintillatori liquidi, ma assolutamente prima della pubblicazione di Kallmann.

– I nomi degli scopritori del terfenile sono gli autori della nota [A1], che chiaramente annunciarono tale scoperta. Vorrei aggiungere il nome di R. Hofstadter, che fu generoso ed essenziale, come è riportato nella sua nota [A7, p. 195].

– Dobbiamo riconoscere l'intenso e sistematico lavoro di Kallmann, il quale, peraltro, non fu preciso nelle sue citazioni e non fu fortunato come noi nello scoprire quello che apparve subito come il miracolo del terfenile.

Bibliografia

Riferimenti bibliografici

[1] D. W. Kerst e R. Serber, The Acceleration of Electrons by Magnetic Induction, *Phys. Rev.* 60, 1941, 47–53.

[2] N. Kemmer, *Proc. Cambridge Philosophical Society* 34, 354, 1938; H.A. Bethe, *Phys. Rev.* 57, 1940, 267–390.

- [3] J. Hamilton, W. Heitler e M.W. Peng, *Phys. Rev.* 64, 1943, 78.
- [4] J. Tabin, *Phys. Rev.* 66, 1944, 86.
- [5] M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, *Phys. Rev.* 71, 1947, 209 – 210.
- [6] G. Salvini, La vita di Oreste Piccioni e la sua attività scientifica in Italia, Giornata Lincea in ricordo di Oreste Piccioni. Roma, 12 Novembre 2003, *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali*, Serie IX, volume XV Fascicolo 4, 289 – 323.
- [7] H. Yukawa, On the interactions of Elementary Particles, *Proc. Phys. Math. Society*, Japan 17, 1935, 48–57.
- [8] B. Rossi, *High Energy Particles*, cap. 8, p. 388 e segg., Prentice Hall, New York, 1952.
- [9] G. Cocconi and V. C. Tongiorgi, Intensity and Lateral Distribution of the N-Component in the Extensive Showers of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 79, 1950, 730; V. C. Tongiorgi, On the Mechanism of Production of the Neutron Component of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 76, 949, 517; G. Cocconi e V. Tongiorgi, Angular Distribution and Multiplicity of Neutrons Associated with Local Cosmic-Ray Showers, *Phys. Rev.* 76, 1949, 318; V. C. Tongiorgi, Neutrons in the Extensive Air Showers of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 75, 1949, 1532; G. Cocconi, V. Tongiorgi, and K. Greisen, Neutrons in the Penetrating Showers of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 74, 1948, 1867; V. T. Cocconi, On the Origin of the Neutrons Associated with the Extensive Cosmic-Ray Showers, *Phys. Rev.* 74, 1948, 226; V. Tongiorgi, On the Presence of Neutrons in the Extensive Cosmic-Ray Showers, *Phys. Rev.* 73, 1948, 923; C. Milone and V. Tongiorgi, On the Generation in Paraffin of Ionizing Penetrating Particles by a Neutral Component of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 72, 1947, 735.
- [10] G. D. Rochester e J. G. Wilson, *Cloud Chambers photographs of the Cosmic Radiation* Pergamon Press L.T.D., London 1952.
- [11] M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, On the disintegration of negative mesons, *Phys. Rev.* 71, 1947, 209–210.
- [12] C. M. Lattes, H. Muirhead, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell, *Nature* 158, 1947, 694; C. M. Lattes, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell, *Nature* 160, 1947, 453, 486.
- [13] G. Paoloni (a cura di), *Energia, ambiente, innovazione. Dal CNRN all'ENEA*, Edizioni Laterza, 1992.
- [14] M. Ageno, M. Chiozzotto, and R. Querzoli, Sulla nuova tecnica dei contatori a scintillazione, *Atti Accademia Nazionale dei Lincei* 6, 1949, 626.
- [15] L. Anderson, E. Fermi, R. Martin e D.E. Nagle, *Physical Review* 91, 1953, 155.
- [16] G. Salvini (a cura di), *L'elettrosincrotrone di Frascati*, prefazione di Gilberto Bernardini, progetto e realizzazione della sezione acceleratore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Zanichelli, Bologna 1962, Supplemento al *Il Nuovo Cimento* XXIV, 1962.
- [17] L. Bonolis e M. G. Melchionni (a cura di), *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero*, Marsilio, Venezia, 2003.

Bibliografia parziale relativa alle ricerche sui raggi cosmici e al lavoro svolto a Frascati nel periodo 1945–1975, estesa alle ricerche effettuate a Ginevra nell’esperimento UA1

- [S1] G. Salvini, Calcolazioni numeriche su un nuovo tipo di interazione mesonica per il sistema protone–neutrone, *Rend. Ist. Lomb. Sc. e Lett.* LXXVIII, 1944–1945, 258.
- [S2] G. Salvini, Sull’assorbimento della radiazione cosmica a 2100 m, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, III, 1946, 283.
- [S3] G. Salvini, Un contatore di Geiger–Müller in forma sferica, *Ricerca Scientifica e Ricostruzione*, XVII, 1947, 914,.
- [S4] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Osservazioni in camera di Wilson sullo sparpagliamento laterale delle particelle negli sciami estesi *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, IV, 1947 102.
- [S5] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Presence of a penetrating component in extensive showers in the atmosphere, *Nature* 159, 1947, 367.
- [S6] G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla componente penetrante degli sciami dell’aria, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, IV, 1947, 279.
- [S7] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla presenza di una componente penetrante negli sciami estesi della radiazione cosmica, *Rend. Accad. Naz. Lincei* s. 8^a, 1947, 437.
- [S8] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla presenza di una componente penetrante negli sciami estesi dell’aria, *Il Nuovo Cimento*, s. 9^a, IV, 1947, 10.
- [S9] G. Salvini, Un contatore proporzionale di forma sferica, *La Ricerca Scientifica* XVIII, 1948, 3.
- [S10] G. Salvini, La distinzione delle componenti della radiazione cosmica nella bassa atmosfera e la frequenza relativa dei mesoni lenti, *Il Nuovo Cimento*, s. 9^a, V, 1948, 213.
- [S11] G. Salvini e G. Tagliaferri, On the penetrating component of air showers, *Phys. Rev.* 73, 1948, 261.
- [S12] G. Salvini, Some Geiger–Müller and proportional counters of spherical shape, *Review of Scientific Instruments* 19, 1948, 104.
- [S13] G. Salvini, Sull’ipotesi di un nuovo tipo di particelle negli sciami estesi, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, V, 1948, 104.
- [S14] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Alcune proprietà delle esplosioni nucleari nella radiazioni cosmica, *Il Nuovo Cimento* VI, 1949, 207.
- [S15] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Esplosioni nucleari in piombo e in carbonio, osservate in camera di Wilson, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VI, 1949, 486.
- [S16] G. Salvini e G. Tagliaferri, Local production of the penetrating particles in extensive showers, *Phys. Rev.* 75, 1949, 1112.

4. Giorgio Salvini

- [S17] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Nuclear interactions of the particles produced in cosmic rays bursts, *Nature* 163, 1949, 1004.
- [S18] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, La produzione di particelle penetranti negli sciami dell'aria, *Nuovo Cimento* s. 9^a, VI, 1949, 108.
- [S19] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla natura e sul numero delle particelle penetranti nelle esplosioni nucleari prodotte nel piombo dalla radiazione cosmica, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VI, 1949, 291.
- [S20] G. Salvini, Sulla struttura degli sciami estesi dell'aria, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VI, 1949, 293.
- [S21] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Cloud chamber observations on the electromagnetic component from nuclear explosions and the development of the nuclear cascade, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VIII, 1950, 943.
- [S22] A. Borsellino e G. Salvini, Considerazioni sullo sviluppo in cascata della componente penetrante degli sciami estesi, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VII, 1950, 790.
- [S23] F. Harrison, G. Reynolds e G. Salvini, Liquid scintillation counters, *Phys. Rev.* 78, 1950, 488.
- [S24] G. Salvini, The mean free path of the N component of the cosmic radiation, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VII, 1950, 786.
- [S25] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Mean free path of the particles produced in nuclear explosions in C and Pb, *Phys. Rev.* 77, 1950, 284.
- [S26] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Proprietà nelle esplosioni nucleari e confronto tra le esplosioni in C e in Pb, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a VII, 1950, 36.
- [S27] G. Salvini, Detection of nuclear reactions by means of a cloud chamber containing a crystal of sodium iodide, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, VIII, 1951, 798.
- [S28] Y. Kim e G. Salvini, Production cross section and energy spectrum of the neutral mesons in cosmic rays, *Phys. Rev.* 85, 1952, 921.
- [S29] Y. Kim e G. Salvini, Production cross section and frequency of neutral mesons in cosmic rays, *Phys. Rev.* 88, 1952, 40.
- [S30] G. Salvini, Interaction mean free path and charge exchange of the π -mesons, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, X, 1953, 1018.
- [S31] G. Salvini, Relazione sui raggi cosmici per il Congresso di Bergamo, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, X, 1953, 269.
- [S32] G. Salvini, Il progetto italiano di un elettrosincrotrone, *Suppl. Il Nuovo Cimento* s. 9^a, XII, 1954, 77.
- [S33] G. Salvini, Proposal of a synchrotron with a double vacuum chamber, *Il Nuovo Cimento* s. 9^a, XI, 1954, 55.
- [S34] G. Salvini, The Italian design of a 1000 MeV electrosynchrotron: a comparison between the strong and the weak focusing, *Supplemento Nuovo Cimento* serie X, II, 1955, 442, s.10^a, II, 1955, 442. Rendiconti scuola di Varenna, Luglio–Agosto 1954. Dedicato alla Memoria di Enrico Fermi.

- [S35] G. Salvini, L'elettrosincrotrone di Frascati da 1000 MeV e le ricerche possibili con esso, *Energia Nucleare* III, 1956, 435.
- [S36] G. Salvini e G. Sanna, On the use of electric current to increase the radial extent of the focusing region in the INFN electron-synchrotron, [Atti del] *Symposium du CERN sur les accélérateurs de haute énergie*, Genève, 12–23 juin 1956, I, 1956, 458.
- [S37] G. Salvini, A synchrotron with a double vacuum chamber, [Atti del] *Symposium du CERN sur les accélérateurs de haute énergie*, Genève, 12–23 juin 1956, I, 1956, 40–41.
- [S38] G. Salvini, Il recente Convegno di fisica nucleare tenutosi negli Stati Uniti presso l'Università di Rochester, *Giornale di Fisica* I, 1956–1957.
- [S39] G. Salvini, Il problema dei lavoratori, [Atti del] *I Convegno di studio sulle condizioni della ricerca fisica in Italia*, Roma, settembre 1958.
- [S40] G. Salvini, Stato attuale dei lavori per l'elettrosincrotrone nazionale da 1000 MeV, *Il Nuovo Cimento* s. 10^a, IX, 1958, 402 (Suppl.2).
- [S41] G. Salvini, Operation at 1000 MeV of the Frascati electrosynchrotron (con collab.), *Il Nuovo Cimento* s. 10^a, XI, 1959, 311.
- [S42] G. Salvini, Search for new neutral mesons (the ρ^0 -mesons) (con collab. Di C Bernardini, R. Querzoli, A. Silverman, G. Stoppini), *Il Nuovo Cimento* s.10^a, XIV, 1959, 268.
- [S43] G. Salvini, Sulla situazione dei lavori per l'elettrosincrotrone italiano da 1200 MeV e nel programma di ricerche (con collab.), *Il Nuovo Cimento* s. 10^a, XI, 1959, 324 (Suppl. 3).
- [S44] G. Salvini, Photoproduction of neutral pions and polarization of the recoil protons, *Proceedings of the International Conference at Rochester*, 25 agosto–1 settembre, 1960.
- [S45] R. Querzoli, G. Salvini e A. Silverman, The polarization of the proton from the process $\Upsilon + p \rightarrow p + \pi^0$ in the region of the higher resonances, *Il Nuovo Cimento* s. 10^a, XIX, 1961, 53.
- [S46] A cura di G. Salvini, L'elettrosincrotrone di Frascati, Progetto e realizzazione della sezione acceleratore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Zanichelli, Bologna, 1962, 388 (Suppl. a *Il Nuovo Cimento* s. 10^a, XXIV, 1962).
- [S47] C. Mencuccini, R. Querzoli, G. Salvini e G. Silvestrini, A first evidence of a radiative mode of the intermediate pion resonance, *Proceedings of the International Conference on High Energy Physics at CERN*, Geneva, 1962, 33.
- [S48] C. Mencuccini, R. Querzoli, G. Salvini, Polarization of the recoil proton from the neutral photoproduction at 800 and 910 MeV, *Phys. Rev.* 126, 1962, 1181.
- [S49] G. Salvini (a cura di), Procedimento dei lavori, divisione dei compiti, quadro dei tempi, prima fase delle ricerche sperimentali, in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna (1962) 31 (*Il Nuovo Cimento* s. 10^a, XXIV, Suppl. 1).
- [S50] A cura di G. Salvini (con collab.), Il progetto e la realizzazione del magnete,

4. Giorgio Salvini

in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 98, *Idem*.

[S51] A cura di G. Salvini (con collab.), La ricerca del fascio, in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 334, *Idem*.

[S52] A cura di G. Salvini (con collab.), Servizi e laboratori speciali in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 371, *Idem*.

[S53] A cura di G. Salvini (con collab.), Il sistema centrale di controllo in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 312., *Idem*.

[S54] G. Salvini (con collab.), Photoproduction and neutral decay modes of the η particle, *Phys. Rev. Lett.* 11, 1963, 37.

[S55] G. Salvini (con collab.), The single photoproduction of neutral pions in hydrogen in the energy range 600 to 800 MeV. Use of the spark chamber technique, *Proceedings of the Conference on High Energy Physics*, Aix-en-Provence, luglio 1963.

[S56] G. Salvini (relazione a invito), Physics with photons and electron beams: requirements of experimenters in terms of energy intensity and quality, *Proceedings of the 5th International Conference on High Energy Accelerators*, 5-16 settembre 1965, 197.

[S57] G. Salvini (con collab.), Photoproduction of the eta particle at 800-1000 MeV; a comparison between the π -n and η -n system, *Phys. Rev. Lett* 16, 1966, 157.

[S58] G. Salvini, Metodi e mezzi del fisico, da Galileo ad oggi, *De Homine*, 13-14, 1967.

[S59] G. Salvini (con collab.), Photoproduction of neutral pions for incident photon energies 400-800 MeV. Search for resonant P_{11} state and remarks on the eta cusp effect, *Phys. Rev.* 159, 1967, 1124.

[S60] G. Salvini, Il 'tritume' e i 'particolari accidenti' nella evoluzione della fisica, *De Homine* 15-16, 1967.

[S61] G. Salvini, Future perspectives of fundamental research. The industry of culture. Theory and phenomenology in particle physics, *Opening talk*, Erice School, luglio; Academic Press, New York, 1968.

[S62] G. Salvini, Production of the eta particle and the extent of our present understanding, in *Old and new problems in elementary particles*, Academic Press, New York, 1968.

[S62bis] G. Salvini in coll. con C. Bacci, C. Mencuccini, G. Penso, C. Silvestrini, Eta photoproduction cross section for incident photon energies from 800 to 1000 MeV, *Il Nuovo Cimento* s. 10 Vol. 45, 983.

[S63] G.Salvini, The 'eta' particle, *Rivista del Il Nuovo Cimento* 1, 1969, 57.

[S64] G.Salvini (con collab.), Reaction $e^+e^- \rightarrow \pi^0 + \gamma$ and $e^+e^- \rightarrow \eta + \gamma$. Measurement of $\omega\phi$ and $\eta\eta'$ mixing angles, *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi* a cura di B. Touschek, (1971), 244.

- [S65] G. Salvini (con collab.), Total eta–nucleon cross–section by photoproduction of eta–mesons in complex nuclei, *Lettere al Il Nuovo Cimento* I, 1969, 391.
- [S66] G. Salvini, Electromagnetic production of hadronic resonances, in *Elementary processes at high energy*, Academic Press, 1971.
- [S67] G. Salvini (con collab.), The η and η' particles in the pseudoscalar nonet, *Ann. Rev. Nucl. Sci.* 21, 1971, 1.
- [S68] G. Salvini (con collab.), Experimental test of quantum electrodynamics by 2 γ annihilation at (1.4+2.4) GeV total energy with the e^+e^- storage rings Adone, *Lettere al Il Nuovo Cimento* s. 2^a, II, 1971, 73.
- [S69] G. Salvini (con collab.), Multiple production from e^+e^- annihilation and a first observation of $\gamma+\gamma$ interaction ($e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \text{others}$) *Proceedings of the first EPS Conference on, Meson resonances and related electromagnetic phenomena*, Bologna 14–16 aprile 1971.
- [S70] G. Salvini (con collab.), Gamma–gamma interaction processes at Adone: $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, *Lettere al Il Nuovo Cimento* s. 2^a, III, 1972, 709.
- [S71] G. Salvini, Mitologia e verità nella figurazione di Galileo. Il Galileo di Bertolt Brecht, in *Saggi su Galileo*, Barbera, Firenze 1972. Pubblicazioni del Comitato nazionale per le manifestazioni celebrative del IV centenario della nascita di Galileo Galilei, vol. III.
- [S72] G. Salvini (con collab.), Multihadronic cross section from e^+e^- annihilation at c.m. energies between 1.4 and 2.4 GeV, *Phys. Lett.* B38, 1972, 7.
- [S73] G. Salvini (con collab.), Multihadronic cross sections from e^+e^- annihilation up to 3 GeV c.m. energy, *Phys. Lett.* B44, 1973, 533.
- [S74] G. Salvini (con collab.), Wide angle electron positron Bremsstrahlung at Adone: a new limit for the existence of a heavy electron, *Phys. Lett.* B44, 1973, 530.
- [S75] G. Salvini, Researches in Frascati on the reactions $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + X$, presentato alla Conferenza di Parigi, 3–5 settembre, 1973.
- [S76] G. Salvini *et al.*, Preliminary results of Frascati (Adone) on the nature of a new 3.1 GeV particle produced in e^+e^- annihilation, *Phys. Rev. Lett.* 33, 1974, 1408; *Phys. Rev. Lett.* 33, 1974, 1649.
- [S77] G. Salvini *et al.*, Study of Hadronic events and search for new particles at PETRA, *Exp. proposal 76/11*, Laboratori Nazionali di Frascati, luglio 1976.
- [S78] G. Salvini, On the possibility to reach higher energy for a short time in a e^+e^- storage ring. The case of an e^+e^- ring inside the SPS tunnel, *Nota interna n. 677*, 10 gennaio, 1977, Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma.
- [S79] G. Tazzari e G. Salvini, Electron positron rings between 2×40 and 2×100 GeV. Conventional and unconventional perspectives, invited papers at the DESY study week, February 24–28, 1977, *Nota interna*, LNF/77/13(R), 19 aprile, 1977.
- [S79bis] G. Salvini, R. Visentin, Use of the gravity field to shape large linear solar Concentrators, *Nota interna* N^o 692 Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma, 5 sett. 1977.

4. Giorgio Salvini

- [S80] G. Salvini (UA1 Collaboration), A 4π solid angle detector for the SPS used as a proton–antiproton collider at a centre of mass energy of 540 GeV, *CERN/SPSC/78-06 SPSC/P92*, 30 gennaio 1978.
- [S81] G. Salvini (UA1 Collaboration), Some observations on the first events seen at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 107B, 1981, 320.
- [S82] G. Salvini (UA1 Collaboration), Transverse momentum spectra for charged particles at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 118B, 1982, 167.
- [S83] G. Salvini (UA1 Collaboration), First observation of correlations between high transverse momentum charged particles in events from the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 118B, 1982, 173.
- [S84] C. Bacci *et al.*, A calorimeter with wavelength shitter read out for particles at small angles in proton-antiproton collisions, *Nuclear Instruments and Methods* 200, 1982, 195.
- [S85] G. Salvini (UA1 Collaboration), Small angle elastic scattering at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 121B, 1983, 77.
- [S86] G. Salvini (UA1 Collaboration), Experimental observation of isolated large transverse energy electrons with associated missing energy at $\sqrt{s} = 540$ GeV, *Physics Letters* 122B, 1983, 103.
- [S87] G. Salvini (UA1 Collaboration), Search for Centauro like events at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 122B, 1983, 189.
- [S88] G. Salvini (UA1 Collaboration), Charged particle multiplicity distributions in proton–antiproton collisions at 540 GeV centre of mass energy, *Physics Letters* 123B, 1983, 108.
- [S89] G. Salvini (UA1 Collaboration), Observation of jets in high transverse energy events at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 123B, 1983, 115.
- [S90] G. Salvini (UA1 Collaboration), Experimental observation of lepton pairs of invariant mass around 95 GeV/ c^2 at the CERN SPS Collider, *Physics Letters* 126B, 1983, 398.
- [S91] G. Salvini (UA1 Collaboration), Elastic and total cross section measurement at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 128B, 1983, 336.
- [S92] G. Salvini (UA1 Collaboration), Further evidence for charged Intermediate Vector Bosons at the SPS Collider, *Physics Letters* 129B, 1983, 273.
- [S93] G. Salvini (UA1 Collaboration), Hadronic jet production at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 132B, 1983, 214.
- [S94] G. Salvini (UA1 Collaboration), Jet fragmentation into charged particles at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 132B, 1983, 223.
- [S95] G. Salvini (UA1 Collaboration), Search for massive $e\nu\gamma$ and $\mu\nu\gamma$ final states at the CERN Super Proton Synchrotron Collider, *Physics Letters* 135B, 1984, 250.
- [S96] G. Salvini (UA1 Collaboration), Observation of the muonic decay of the charged Intermediate Vector Boson, *Physics Letters* 134B, 1984, 469.

- [S97] G. Salvini (UA1 Collaboration), Angular distributions and structure functions from two jet events at the CERN SPS proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 136B, 1984, 294.
- [S98] G. Salvini (UA1 Collaboration), Experimental observation of events with large missing transverse energy accompanied by a jet or a photon(s) in proton–antiproton collisions at $\sqrt{s}=540$ GeV, *Physics Letters* 139B, 1984, 115.
- [S99] G. Salvini (UA1 Collaboration), D* production in jets at the CERN SPS Collider, *Physics Letters* 147B, 1984, 222.
- [S100] G. Salvini (UA1 Collaboration), Observation of the muonic Z⁰ decay at the proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 147B, 1984, 241.
- [S101] G. Salvini, What we know and what we do not (yet) know in Particle Physics, *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi*, a cura di J. Audouze e F. Melchiorri, 1990, 307-339.
- [S102] G. Salvini, Detectors. Present and Future in high energy physics, *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi*, a cura di J. Audouze e F. Melchiorri, 1990, 341.

Bibliografia Appendice

- [A1] George T. Reynolds, F.B. Harrison e G. Salvini, Liquid scintillation Counters, *Phys. Rev.* 78, 1950, 488.
- [A2] M. Ageno, M. Chiozzotto, e R. Querzoli, Sulla nuova tecnica dei contatori a scintillazione, *Atti Accademia Nazionale dei Lincei* 6, 1949, 626.
- [A3] H. L. Anderson, E. Fermi, R. Martin and D.E. Nagle, *Phys. Rev.* 91, 155, (1953).
- [A4] H. Kallmann e M. Furst, *Phys. Rev.* 79, 1950, 857.
- [A5] H. Kallmann e M. Furst, *Phys. Rev.* 81, 1951, 853.
- [A6] George T. Reynolds e F.B. Harrison, *Phys. Rev.* 78, 1950, 732.
- [A7] R. Hofstadter, in “Panel on Accelerators and Detectors in the 1950s”, *Colloque International sur l’Histoire de la Physique des Particules, Journal de Physique Suppl.* (Paris) 43 (2) 1982, 195.

Capitolo 5

Alberto Gigli Berzolari

Alberto Gigli Berzolari nato a Pavia il 19 luglio 1921, laureato in Fisica a Pavia nel 1945, ha inizialmente operato a Pavia, Roma e Genova. Straordinario di Fisica Superiore (1959) e poi Direttore dell'Istituto di Fisica "Macedonio Melloni" dell'Università di Parma, ordinario di Fisica Generale dell'Università di Pavia (1962), fondatore e Direttore dell'Istituto di Fisica Nucleare dell'Università di Pavia (1963), è stato membro del Consiglio Direttivo e della Giunta Esecutiva dell'INFN (1968–1977), Presidente dell'INFN (1976–1977), Preside della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. (1969–1976) e Rettore dell'Università di Pavia (1976–1983), Vice-Direttore delle *Lettere al Nuovo Cimento* (1965–1985), Advisory Editor di *Europhysics Letters* (1986–1993), membro effettivo dell'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere (1981), membro della Società Italiana di Fisica, della Società Americana di Fisica e della Società Europea di Fisica, è professore emerito dell'Università di Pavia. Ha ricevuto borse di studio e premi per la sua attività scientifica (C.N.R., "della Riccia", "British Council", "Somigliana") e la medaglia d'oro dei benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte (1975). Premio della Società Italiana di Fisica per la Storia della fisica (1997). Premio internazionale Gerolamo Cardano (1999). Socio benemerito della Società Italiana di Fisica (2001).

Ha compiuto ricerche oltre che presso atenei nazionali (tra cui Milano e Torino accanto a quelli citati) anche presso l'Università di Liverpool, i Laboratori della Testa Grigia, di Frascati, del Gran Sasso, di Grenoble e (parzialmente) quelli di Ginevra. La sua produzione scientifica è contenuta in centocinquanta lavori pubblicati, in gran parte, su riviste internazionali. Tali ricerche si sono articolate sui seguenti temi: a) Conducibilità elettrica di sistemi portati a basse temperature; b) Risonanza magnetica nucleare; c) Raggi cosmici a quote montane (Laboratorio della Testa Grigia) e a grandi profondità sotto terra (Gran Sasso e Tivoli); d) Ricerche originali, teoriche e sperimentali, sulle caratteristiche generali dei rivelatori di particelle cariche veloci (Camere a diffusione e Camere a bolle a gas-liquido); e)

Reazioni gamma–nucleo operando con l'elettrosincrotrone di Frascati; f) Diffusione elastica di protoni polarizzati da vari nuclei; g) Oscillazioni neutrone–antineutrone presso il Reattore Nucleare Triga–Mark IT (a Pavia) e quello dell'ILL di Grenoble; h) Partecipazione, attualmente in corso, alla sperimentazione proposta dal gruppo ICARUS volta allo studio delle proprietà dei neutrini (Ginevra e Laboratorio del Gran Sasso); i) Ricerche sulla Storia della Scienza (tra '700 e '800) e volumi su Alessandro Volta, Luigi Valentino Brugnatelli e Lorenzo Mascheroni.

5.1 Premessa

In questo rapporto largo spazio è lasciato al racconto riguardo gli studi, teorici e sperimentali, che hanno portato alla realizzazione di strumentazioni visualizzanti della traiettoria di particelle ionizzanti. In particolare, si riferisce sugli studi condotti da chi scrive e dai suoi collaboratori negli anni del dopoguerra e poi ripresi, con criteri e metodi diversi e perfezionati, negli ultimi anni del secolo passato (sezione 1.3.3 e seguenti).

Il rapporto su tali studi è preceduto dal racconto intorno a persone e circostanze che hanno indotto chi scrive e collaboratori alle scelte operative che, direttamente o indirettamente, venivano discusse e vagliate in varie sedi.

L'attività scientifica svolta da chi scrive è stata continua ed articolata su vari temi: risonanza magnetica nucleare, fisica nucleare, fisica subnucleare, fisica dei sistemi termodinamici soprassaturi gas–vapore e gas–liquido, strumentazione nucleare, stabilità della materia ed argomenti vari. Nella maggioranza dei casi, per scelta voluta, si è trattato di ricerche svolte nella fase pionieristica dei temi proposti; in particolare, quelle riguardanti la strumentazione nucleare visualizzante della traiettoria di particelle ionizzanti veloci.¹

Dopo alcuni richiami su episodi dell'immediato dopoguerra che hanno influito su alcune scelte culturali si riassumono in breve, cronologicamente, gli impegni scientifici assunti da chi scrive presso le Università di Pavia, Roma, Liverpool, Genova, Parma e poi ancora a Pavia, nonché presso i Laboratori della Testa Grigia, Frascati, Ginevra, Grenoble e Gran Sasso.

¹Negli anni Settanta l'attività di chi scrive ha avuto un rallentamento a causa degli impegni a livello promozionale connessi agli uffici di membro della Giunta Esecutiva e del Consiglio Direttivo dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Preside della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Presidente dell'INFN, Rettore della Università; è poi ripresa con vigore, ed è continuata, negli anni Ottanta.

5.2 Gli anni dell'immediato dopoguerra e gli incontri con Edoardo Amaldi

Negli anni dell'immediato dopoguerra i fisici italiani di allora, giovani e meno giovani – e, per lo più, appena usciti dalle tragiche vicende della guerra e della guerra civile – si chiedevano con preoccupazione quale fisica si potesse fare e con quali mezzi. Le notizie su quanto si faceva all'estero erano frammentarie ed imprecise. Si sapeva con certezza solo quello che negli anni precedenti la seconda guerra mondiale era stato fatto sia in Italia, sia all'estero nei settori – sperimentale e teorico – della spettroscopia, della radioattività ed in quello dei raggi cosmici.

Tra gli argomenti scientifici discussi c'erano quelli che, per effetto stesso della guerra, erano assurti alla massima importanza e notorietà ossia quelli relativi ai fenomeni nucleari.

Chi scrive si era laureato in fisica nel febbraio del 1945 con una tesi semisperimentale “sulla diffusione di elettroni veloci dovuta ad urto con molecole di gas idrogeno”; quando la guerra era ormai al termine e tutto avveniva in un clima di grande confusione, angosce e paure. Il relatore della tesi era stato Orazio Specchia; gran parte di essa era stata discussa con Piero Caldirola.

A quel tempo non c'erano idee ma, soprattutto, c'era una visione molto povera e provinciale dei problemi della ricerca scientifica. Da più parti, per sua fortuna, chi scrive veniva sollecitato a trovare un ambiente più esaltante di quello che non fosse quello dove si era laureato. Ma era difficile usufruire di soggiorni all'estero – essenzialmente in Inghilterra o negli Stati Uniti – per ovvie ragioni contingenti ed economiche (ragioni economiche avevano costretto chi scrive a rinunciare a una possibile offerta di Bruno Pontecorvo in Inghilterra. I Pontecorvo erano amici di famiglia); avrebbe dovuto cercare soluzioni in Italia e non si vedeva altra sede che Roma dove operavano gli allievi di Enrico Fermi. In famiglia era ben noto il mondo scientifico italiano e, in particolare, quello dei matematici e dei fisici di Roma.

Edoardo Amaldi, attraverso loro, conosceva le sollecitazioni che riceveva chi scrive e l'orientamento che stava per assumere. Lo aveva incontrato a Como in occasione della prima riunione del dopoguerra dei fisici italiani; con grande liberalità e generosità gli era stata offerta la possibilità di passare qualche tempo a Roma preoccupandosi subito di superare i soli-



Figura 5.1: Enrico Fermi (a destra) e Bruno Pontecorvo (a sinistra) nel 1949, durante una visita agli stabilimenti della Olivetti.

ti problemi economici. Indicava l'unica strada allora percorribile: quella di concorrere a una borsa di studio del Consiglio Nazionale delle Ricerche da usufruire a Roma presso il "Centro Studi di Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari" da lui creato.

L'anno dopo (1946), di ritorno da un difficile e avventuroso viaggio negli Stati Uniti, Amaldi visitava alcuni Istituti di Fisica italiani; voleva rendersi conto di quanto era rimasto dopo gli sconvolgimenti della guerra e informarsi su quali attività scientifiche ci si era impegnati e su quelle che si volevano promuovere. Visitava anche l'Istituto di Fisica di Pavia e a lungo si è discusso con lui sul "che fare". Tornava ancora sul problema della eventuale trasferta di chi scrive a Roma. Portava notizie aggiornate ed indicava alcuni indirizzi promettenti e da coltivare, tenuto conto della povertà dei mezzi finanziari e strumentali allora disponibili. Tali indirizzi erano, almeno per quel che concerne la ricerca fisica fondamentale:

1) Aspetti sia teorici che sperimentali della superconduttività quale settore di grande avvenire sul versante scientifico e, in prospettiva, su quello tecnologico.

- 2) Risonanza Magnetica Nucleare appena scoperta negli Stati Uniti.
- 3) Radiazione cosmica e sue implicazioni astrofisiche, in attesa della disponibilità di acceleratori di particelle.
- 4) Aspetti dei cosiddetti effetti di “ordine e disordine” che allora venivano compresi in quel settore più ampio che negli Stati Uniti si affermava come Fisica dello Stato Solido.
- 5) Sul versante tecnologico, egli sottolineava la importanza degli studi sui sistemi elettronici per la strumentazione avanzata e, in prospettiva, per lo sviluppo dei mezzi di calcolo, nonché l'importanza dello sfruttamento dell'energia nucleare per scopi pacifici ed umanitari.²

A Pavia Amaldi suggeriva anche un importante miglioramento del generatore di alta tensione di 500.000 Volt che aveva installato Rita Brunetti, alla fine degli anni Trenta, quando dirigeva l'Istituto. Forte della esperienza acquisita operando con l'analogo generatore – ma di 1.000.000 Volt – dell'Istituto Superiore di Sanità, ha spiegato le ragioni per cui tale impianto, così come era, non poteva funzionare correttamente; era un semplice moltiplicatore di tensione a diodi e capacità su due colonne verticali e collegare direttamente – come era nelle intenzioni per realizzare un acceleratore – la sorgente di ioni e la sommità del tubo acceleratore, alla seconda colonna (quindi direttamente alla alta tensione), avrebbe potuto danneggiare seriamente il generatore per effetto delle inevitabili scariche lungo il tubo e comunque quando fossero tali da cortocircuitare – o quasi – il generatore stesso; suggeriva di collocare il generatore di ioni su una terza colonna di materiale isolante e trasferire su di essa l'alta tensione e la sorgente di ioni attraverso una resistenza protettiva; dalla terza colonna doveva partire, verticalmente, il tubo acceleratore di ioni. Amaldi sottolineava l'importanza degli studi di fotodisintegrazione nucleare; con l'impianto di 500.000 Volt erano accessibili due fasci monocromatici di radiazione gamma di energia $E_{\gamma_1}=17.6$ MeV e $E_{\gamma_2}=14.8$ MeV ottenuti attraverso la reazione di risonanza ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ con protoni di energia $E_p=440$ KeV.

La trasferta di chi scrive a Roma era vista favorevolmente dal Direttore O. Specchia; al suo rientro a Pavia avrebbe potuto occuparsi dell'impianto da 500.000 Volt e della relativa fisica. Ma le cose sarebbero andate diversamente.

Amaldi aveva saputo cogliere l'essenziale; sta di fatto che gli indirizzi di cui

²Malgrado le modifiche suggerite da Amaldi e anche indipendentemente da queste, l'impianto non sarebbe mai riuscito a fare fisica.

sopra venivano subito o potenziati o aperti ex novo nei maggiori Istituti di Fisica costituendo, in questi ultimi cinquanta anni circa, le linee di fondo della ricerca fisica e le basi per l'apertura di nuovi indirizzi. A Pavia, per fortuna, i suoi suggerimenti venivano recepiti e venivano avviate le ricerche di cui ai punti primo e secondo: con risultati interessanti. Quelle di cui al secondo punto sarebbero diventate a Pavia tra le più importanti negli anni successivi; più tardi, avrebbero preso avvio le ricerche di cui al quarto punto. Quelle nucleari avrebbero preso avvio con il ritorno di chi scrive a Pavia (1962).

Prima della trasferta a Roma (1948), dove si sarebbe impegnato in ricerche sulla radiazione cosmica (punto terzo dei suggerimenti di Amaldi), chi scrive partecipava agli esperimenti relativi al primo e al secondo di quei suggerimenti, in collaborazione con Luigi Giulotto.

Il primo riguardava una presunta – e per allora stupefacente – esistenza di superconduttività che R.A. Ogg (1946) diceva di aver rivelato già alla temperatura dell'aria liquida (180 K) raffreddando rapidamente soluzioni di sodio in ammoniaca a quella temperatura. Quello che sosteneva Ogg aveva suscitato enorme interesse nei circoli scientifici più avanzati. A Pavia si riusciva a dimostrare la inesistenza di tale effetto; la sensibile variazione di resistenza essendo da attribuire al cambiamento di stato del sistema sodio-ammoniaca quando rapidamente raffreddato a quella temperatura.

Il secondo riguardava la messa a punto dei metodi di Risonanza Magnetica Nucleare studiati e scoperti pochi mesi prima da F. Bloch, W.W. Hansen e M. Packard (1946) (premio Nobel per la fisica 1952). Alle ricerche, impostate con Giulotto, si associava Pietro Sillano esperto di radiotecnica. Si era tra i primi in Italia e in Europa a introdurre nuovi metodi per esaminare vari aspetti del fenomeno appena scoperto; si riusciva anche a dare contributi originali. A Roma si era stati preceduti da A. Bolle, G. Puppi, G. Zanotelli (*Nuovo Cimento* III, 412, 1946); ma non sarebbero andati oltre la prima messa a punto della strumentazione. La Risonanza Magnetica Nucleare avrebbe avuto, come del resto è noto, sviluppi di grandissima importanza, sia scientifici, sia applicativi.

È stato un lavoro che ha suscitato in tutti un grande interesse e notevoli soddisfazioni; senza mezzi e aiuti, esercitando una esasperata attitudine “nell'arte di arrangiarsi”. Spesso si andava a Milano – quando i treni erano fatti solo di carri merci – per cercare alla fiera degli “Oh bej! Oh bej” componenti elettronici che potevano essere di qualche utilità: condensatori,

resistenze, valvole termoioniche ecc. Il primo induttore nucleare realizzato a Pavia era fatto, sostanzialmente, con quei mezzi di fortuna raccattati qua e là.

Quei deboli segnali dovuti al paramagnetismo nucleare dell'acqua venivano colti inizialmente con una semplice cuffia telefonica e questo da una idea della povertà strumentale con cui si doveva operare.

Quel prezioso suggerimento di Amaldi avrebbe impegnato nei successivi anni gran parte delle attività più importanti condotte a Pavia, con eccellenti risultati da parte di Giulotto e dei suoi collaboratori.

5.3 Ricerche condotte a Roma negli anni 1948–1953

Come suggerito da Amaldi, chi scrive ha concorso ad una borsa di studio del CNR per trascorrere un periodo di sei mesi presso il “Centro Studi di Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari”. Vinta la borsa, a Roma ha trovato una atmosfera ben diversa; soprattutto immaginazione e creatività, nonché capacità di proiezione verso il nuovo con importanti collegamenti su dimensioni internazionali. Chi scrive rimaneva presso quei laboratori non sei mesi ma sei anni (prima con borse di studio e poi, quale assistente di ruolo a Pavia, in congedo dalla Università), e nei primi cinque ha avuto il privilegio e la fortuna di essere tra i giovani collaboratori di Amaldi. Sarebbe tornato a Pavia nell'a.a. 1962–1963, dopo quindici anni trascorsi altrove (Roma, Genova, Liverpool e Parma).

A Roma veniva associato a un gruppo guidato da Amaldi e costituito da Carlo Castagnoli e Sebastiano Sciuti. Al contrario dei programmi pensati a Pavia e per varie e motivate ragioni, si sarebbe impegnato su ricerche sulla radiazione cosmica e sulla strumentazione nucleare.

Le ricerche condotte a Roma possono essere distinte in due gruppi:

- a) Fisica della radiazione cosmica.
- b) Termodinamica dei sistemi gas–vapore sotto l'azione di agenti ionizzanti.

5.3.1 Ricerche sulla struttura degli sciami estesi

Scopo di queste ricerche era quello di mettere in evidenza una differenza fra la struttura degli sciami estesi atmosferici (EAS), quale risultava dal loro studio sperimentale che indicava la presenza in essi di una forte componente

penetrante, e le previsioni basate sulla teoria a pura cascata elettrofotonica. Le ricerche sono state condotte presso il Laboratorio della Testa Grigia (Cervinia) a 3.500 metri di quota. Lo studio degli EAS alla Testa Grigia, a partire dal 1947 ha contribuito alla loro interpretazione come *cascate elettronucleari* (e non solo elettromagnetiche), completandosi negli anni Cinquanta.

A tale scopo era stato costruito un dispositivo comprendente 4 camere di ionizzazione veloce (erano state progettate da Bruno Rossi; cilindriche – di lunghezza 1 metro e diametro 8 cm – affiancate tra loro compattamente a coppie, l'una sopra l'altra) con amplificatori proporzionali e registrazione fotografica autosincrona degli impulsi e 4 vassoi di contatori Geiger-Müller in coincidenza posti uno al centro di un triangolo di qualche metro di lato e sopra le quattro camere e gli altri tre ai vertici del triangolo e alla stessa quota. Si sfruttavano le proprietà moltiplicative della componente elettronica dell'EAS – rivelata dai vassoi di contatori – subite in uno strato di Pb (di 2.5 o 5 cm di spessore) che circondava le 4 camere di ionizzazione. Il dato sperimentale che emergeva era la densità superficiale delle particelle dello sciame e non il numero delle particelle più abitualmente studiato. Gli sciami estesi atmosferici rivelati avevano localmente densità di 10^3 particelle/cm².

I risultati di queste ricerche si sono mostrati favorevoli alla ipotesi che la discrepanza tra i risultati sperimentali e la teoria fosse da attribuire alla presenza negli sciami estesi di una componente penetrante costituita da nucleoni e da mesoni.

Contemporaneamente, con lo stesso dispositivo, sono state effettuate misure sull'effetto barometrico degli sciami estesi ed è stato studiato, con dati statisticamente significativi, l'effetto di transizione nella produzione di stelle (reazioni nucleari rivelate dalle 4 camere) da parte della componente penetrante della radiazione cosmica.

5.3.2 Ricerche sulla produzione di secondari penetranti

Nel campo delle ricerche riguardanti la produzione di secondari penetranti, in piombo ed in roccia, da parte di mesoni μ di elevata energia, le misure sono state fatte sotto forti spessori di roccia (50 e 200 m H₂O eq.). Si trattava di misurare la sezione d'urto per produzione di sciami penetranti da parte dei mesoni μ di energia media di circa $1.1 \cdot 10^{10}$ eV a 50 m H₂O eq. e di circa $4.4 \cdot 10^{10}$ eV a 200 m H₂O eq.

5. Alberto Gigli Berzolari

Per tale scopo era stato realizzato un odoscopio (con lampade al neon terminali) di contatori di Geiger e Müller di grandi dimensioni e di geometria tale da consentire, unitamente alla raccolta di dati statisticamente significativi, una discriminazione non troppo grossolana tra gli eventi registrati e di natura certamente diversa (sciame penetranti, coppie di particelle penetranti associate, sciame elettronici, elettroni di knock-on).

Le ricerche sono state effettuate in una prima fase nella galleria di accesso della centrale idroelettrica di San Giacomo (Teramo) alle pendici del Gran Sasso e in una seconda fase in una galleria presso Tivoli.

Le informazioni raccolte hanno contribuito alla chiarificazione del problema delle modalità di interazione nucleare dei mesoni μ di elevata energia. Il limite superiore della sezione d'urto per la produzione di sciame penetranti da mesoni μ è risultato dell'ordine di 10^{-30} cm²/nucleone.

All'epoca in cui sono state effettuate, quelle ricerche erano di grande attualità ed hanno suscitato notevole interesse negli ambienti scientifici internazionali impegnati in tali studi. I risultati ottenuti sono stati oggetto di discussione in vari congressi internazionali (Francia, Inghilterra e Stati Uniti); sono stati confermati successivamente da altri.



Figura 5.2: Alberto Gigli Berzolari.

5.3.3 Studi teorici e sperimentali sul comportamento dei sistemi gas–vapore sotto l’azione di agenti ionizzanti

Gli studi, sia teorici che sperimentali, sul comportamento di sistemi instabili gas–vapore, sotto l’azione di agenti ionizzanti, si sono prolungati per oltre dieci anni ed hanno portato a risultati che si sono affermati per la loro attualità ed originalità.

A Roma veniva costituito un gruppo autonomo di giovani (Paolo Emilio Argan, Nicola D’Angelo e alcuni laureandi) che per incarico di Edoardo Amaldi e Giorgio Salvini si doveva occupare dello studio di rivelatori di particelle cariche in preparazione di strumentazione particolare adatta per ricerche con l’elettrosincrotrone da 1.100 MeV che era stato deciso di installare a Frascati.

Gli interessi di chi scrive su quell’importante settore della strumentazione nucleare che utilizzava stati metastabili della materia per realizzare visualizzatori della traiettoria di particelle cariche veloci, era sempre stato assai vivo.

A quei tempi, in Italia, si occupava di questi problemi un gruppo di ricercatori dell’Università di Milano (Antonio Lovati, Antonino Mura, Giorgio Salvini, Carlo Succi, Guido Tagliaferri) che operando presso il Laboratorio della Testa Grigia — e ancor prima altrove — avevano ottenuto risultati di grande interesse operando con camere di Wilson di varie dimensioni e setti interni di diversi materiali (piombo, ferro, carbonio), comandati da telescopi di contatori di Geiger e Müller in coincidenza.

Gli studi teorici e sperimentali, affrontati da chi scrive, sul comportamento dei sistemi instabili gas-vapore – ottenuti con metodi diversi da quelli caratteristici della camera di Wilson – sotto l’azione di agenti ionizzanti, stavano a fondamento del funzionamento di un rivelatore visualizzante – e a sensibilità permanente – della traiettoria di particelle cariche noto come “camera a diffusione”.

Lo studio di quel rivelatore era stato affrontato fin dal 1939, sia sperimentalmente che teoricamente, con qualche successo da A. Langsdorf [1]; esso era stato ripreso successivamente da diversi autori [2] ma solo negli anni Cinquanta si era pervenuti a risultati soddisfacenti [3]. “Camere a diffusione” funzionanti a pressione normale o a pressione elevata (20÷30 atm) erano state impiegate con successo nello studio di problemi di varia natura. Il principio su cui si basa il funzionamento di questo strumento è ben noto. Normalmente esso è costituito da un recipiente, solitamente cilindrico ad

asse verticale, ermeticamente chiuso e contenente un gas inerte, nella cui parte superiore viene raccolto, in apposita grondaia anulare, un liquido organico (alcool metilico, propilico, etilico) mantenuto ad una temperatura $T_2 \cong 293$ K.

Vapori del liquido organico diffondono nel gas, verso il basso, dalla zona a temperatura T_2 ad una sottostante parete orizzontale mantenuta ad una temperatura $T_1 < T_2$ ($T_1 \cong 213$ K); un forte gradiente di temperatura è quindi stabilito tra la parte alta e la parte bassa del recipiente. In prossimità del fondo si producono permanentemente condizioni di soprassaturazione che, con una opportuna scelta della miscela gas-vapore e dei valori T_1 e T_2 , può essere tale da consentire la condensazione del vapore organico su centri elettricamente carichi. Tracce di particelle ionizzanti – dovute al “fondo” radioattivo e alla radiazione cosmica insieme a particelle prodotte da acceleratori – sono allora visibili in uno strato sensibile orizzontale di altezza pari a qualche centimetro ($5 \div 6$) a partire dal fondo della camera; esse sono fotografabili con opportuna ottica di ripresa e di illuminazione. La fotografia viene scattata qualche secondo dopo l’istante in cui viene annullato un campo elettrico chiarificatore destinato a “pulire” il fondo costituito da centri di condensazione del vapore o in coincidenza quando la camera viene investita da particelle prodotte da acceleratori.

Lo studio teorico dello strumento affrontato da Langsdorf introduceva alcune ipotesi semplificative. Egli trascurava l’effetto sulla distribuzione di temperatura e pressione parziale del vapore all’interno della camera, dovuto alla condensazione del vapore stesso su centri di condensazione, sia elettricamente carichi che scarichi. Ciò che così si otteneva era solo una descrizione approssimata di quello che realmente accadeva; per il doppio effetto della condensazione: sottrazione di vapore e sviluppo di calore. Si ammetteva inoltre che le formule stabilite da J. Kuusinen [5], riguardanti il fenomeno della diffusione isoterma, potessero ritenersi valide anche in presenza di un forte gradiente termico e che il vapore si comportasse come un gas perfetto anche in condizioni di soprassaturazione. Infine, si trascuravano gli effetti dovuti alla presenza delle pareti del recipiente in cui avveniva la diffusione; questa condizione comportava una trattazione unidimensionale del problema, nel senso che le varie grandezze che bisognava considerare fossero pensate dipendenti dalla sola quota.

R. P. Shutt [3] aveva sviluppato una teoria unidimensionale in cui si teneva conto della sottrazione di vapore per condensazione su centri elettricamente

carichi e si supponeva che lo sviluppo delle gocce fosse determinato da equazioni di diffusione, per il vapore ed il calore, a simmetria sferica; si faceva inoltre l'ipotesi che le gocce cadessero conformemente alla legge di Stokes.

Successivamente C. Succi e G. Tagliaferri [3] hanno ripreso la teoria di Langsdorf e valutato con un procedimento di approssimazioni successive qual era l'andamento della soprassaturazione del vapore con la quota, quando non erano trascurabili gli effetti della condensazione su centri elettricamente carichi che penetravano nell'interno dello strato sensibile dalla zona immediatamente sovrastante.

Lo studio teorico dello strumento è stato ripreso da Argan, D'Angelo e Gigli Berzolari [6] per cercare di rispondere in modo semplice ad alcuni quesiti non ancora affrontati da altri autori. Dopo aver scritto alcune relazioni fondamentali, il problema veniva affrontato pensando che le varie grandezze fossero funzione della sola quota misurata a partire dal fondo della camera (trattazione unidimensionale). In un primo tempo si considerava il funzionamento di una camera senza tener conto del fenomeno della condensazione su centri elettricamente carichi; poi si cercava di valutare l'altezza dello strato sensibile tenendo conto del fenomeno della condensazione. Infine, si mostrava come si poteva trattare il problema della condensazione del vapore e della distribuzione della temperatura anche nel caso in cui le due grandezze si ritenevano funzione, oltre che della quota, anche di una coordinata orizzontale (trattazione bidimensionale). Così facendo era possibile rendere conto dell'influenza che una distribuzione di temperatura assegnata arbitrariamente sulle pareti della camera o su setti di materiale, posti nel suo interno, potesse avere sulla conformazione dello strato sensibile.

Con la teoria di Argan, D'Angelo e Gigli Berzolari [6] si rispondeva in modo soddisfacente ed assai semplice ad alcuni quesiti importanti per particolari prestazioni richieste ad una "camera a diffusione". Si è proceduto sostanzialmente con sofisticati metodi fisico-matematici di approssimazioni successive che, assumendo inizialmente modelli semplici, introducevano poi parametri e condizioni operative via via più variati.

Normalmente tale strumento, in virtù del suo bassissimo tempo morto e della particolare geometria della zona sensibile alle radiazioni ionizzanti, veniva e viene utilizzato in esperienze condotte presso acceleratori di particelle. Era evidente, quindi, l'importanza di conoscere con la maggior precisione possibile la conformazione, e quindi il volume della zona sensi-

bile, in funzione del carico ionico dell'ambiente ed oltre a questo, in quale misura potesse mutare la sensibilità dello strumento in vicinanza delle sue pareti o di setti di materiale in esso introdotti.

Si possono trarre le seguenti conclusioni:

1) È stata considerata, sia nella teoria unidimensionale che in quella bidimensionale il caso di una camera funzionante per diffusione di alcool metilico in aria a pressione normale; l'aver scritto le equazioni che intervenivano nel problema nella forma più generale possibile, consentiva, ovviamente, di poter trarre informazioni sul comportamento di camere funzionanti per diffusione di vapori organici diversi in gas mantenuti a pressioni diverse dalla normale e con una opportuna scelta del gradiente di temperatura.

2) Nella trattazione unidimensionale sono stati ottenuti risultati consistenti con le osservazioni sperimentali per quel che riguarda l'altezza dello strato sensibile in funzione del numero di ioni per cm^3 s. Si noti che la rappresentazione del funzionamento della "camera a diffusione" adottata da Argan e collaboratori non richiedeva, come potrebbe accadere affrontando altrimenti il problema, l'assunzione di un carico ionico eccessivo (Succi e Tagliaferri [3]), allo scopo di ottenere un buon accordo tra teoria e risultati sperimentali.

3) Era possibile prevedere, con buona approssimazione, quale doveva essere l'altezza dello strato sensibile determinato da un carico ionico noto.

4) La valutazione della deformazione dello strato sensibile che si manifestava in vicinanza di setti di materiale posti verticalmente nell'interno della camera o in vicinanza delle pareti della camera stessa non era facile. Da un punto di vista analitico il problema si poteva agevolmente affrontare sotto l'ipotesi che il gas si potesse ritenere macroscopicamente in quiete e quando non si tenesse conto della condensazione del vapore su centri carichi; con una opportuna scelta della distribuzione di temperatura sui setti o sulle pareti, non dovevano sussistere forti difficoltà sperimentali nella realizzazione della prima condizione.

5) Le difficoltà analitiche che intervenivano quando si voleva valutare la depressione subita punto per punto dallo strato sensibile, in presenza di centri di condensazione, erano notevoli. Argan e collaboratori pensavano che il criterio adottato per valutare la depressione subita dalla sommità dello strato fosse soddisfacente per pratiche esigenze. L'esperienza ha confermato l'esistenza di una zona di insensibilità alle particelle ionizzanti in vicinanza di setti o delle pareti della camera, che è giusto dell'ordine di

grandezza di quello previsto dalla teoria.

Tali studi sono originali e quindi unici nella letteratura per completezza di impostazione e coerenza dei risultati. Gli apprezzamenti sono stati numerosissimi anche per l'eleganza formale di alcuni aspetti fisico-matematici (per es. da parte di Enrico Persico, Mario Ageno e Patrick Blackett) che tale studio ha considerato. I risultati sono stati discussi in congressi internazionali (Liverpool, Londra, Ginevra) ottenendo lusinghieri apprezzamenti.³

5.4 Ricerche condotte a Genova negli anni 1953–1959

Nel 1953 chi scrive veniva chiamato a Genova da Ettore Pancini. Le ricerche qui descritte rappresentano il proseguimento di quelle iniziate a Roma. Gli studi teorici e sperimentali sul comportamento dei sistemi instabili gas–vapore hanno portato, quale applicazione, alla realizzazione di due grandi “camere a diffusione” (la prima essendo tra le più grandi del mondo). Parallelamente veniva avviato uno studio sistematico teorico e sperimentale, sul comportamento di sistemi instabili gas–liquido sotto l'azione di agenti ionizzanti.

5.4.1 Studi teorici e sperimentali sul comportamento dei sistemi instabili gas–vapore sotto l'azione di agenti ionizzanti

Intorno al 1953 iniziava un programma, che si sarebbe prolungato fino al 1959, inquadrato nella preparazione del programma sperimentale da svolgere con l'elettrosincrotrone da 1.100 MeV di Frascati e con quello da 100 MeV di Torino.

Il gruppo di Genova realizzava due grandi “camere a diffusione”, in collaborazione con alcuni ricercatori di Torino (Valdo Risi, Guido Piragino) ed alcuni di Pavia (Giorgio Bendiscioli, Adalberto Piazzoli). Successivamente, nell'ambito della parte parallela del programma generale, venivano realizzati vari esemplari di rivelatori di particelle cariche basati su un principio di funzionamento diverso e nuovo (vedi più avanti).

Le due “camere a diffusione” (una da impiegare a Frascati e l'altra a Torino) avevano le seguenti caratteristiche:

³Si vedano i lavori da [1] a [6].

5. Alberto Gigli Berzolari

a) Quella di Frascati aveva un diametro di 60 cm e poteva contenere gas fino alla pressione di 30 atm; era immersa in un campo magnetico di intensità massima ≈ 18000 G. Dopo molti test, si è arrivati alla conclusione che volendo uno strato sensibile di $\approx 6-8$ cm, le migliori condizioni termodinamiche si ottenevano operando in aria a pressione atmosferica con alcool propilico oppure in idrogeno a 20 atm con alcool metilico. Il magnete era stato costruito dai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN su progetto di Giancarlo Sacerdoti.

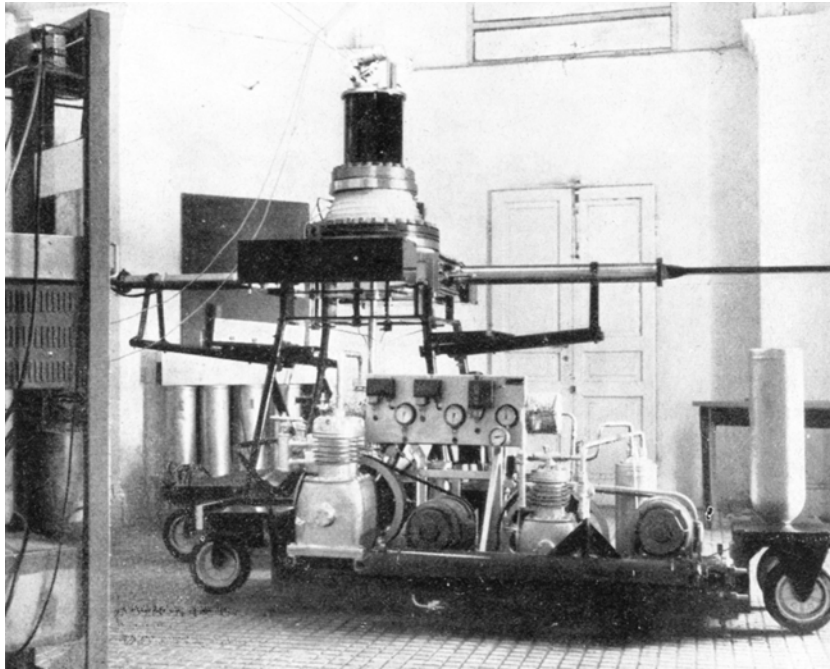


Figura 5.3: Insieme della camera a diffusione (su supporto provvisorio) destinata all'impiego con l'elettrosincrotrone di Frascati e del gruppo frigorifero (riconoscibile in primo piano) senza magnete (Fig. 2 lavoro [7]).

b) Quella di Torino aveva 40 cm di diametro utile e poteva anch'essa arrivare a 30 atm. Non aveva campo magnetico.

Maggiori dettagli sono rintracciabili nel lavoro di P. E. Argan, G. Bendioli, V. Bisi, A. Gigli Berzolari, A. Piazzoli, E. Picasso, G. Piragino: "Due camere a diffusione per esperienze con gli elettrosincrotroni da 1100 MeV di Frascati e da 100 MeV di Torino" [7].

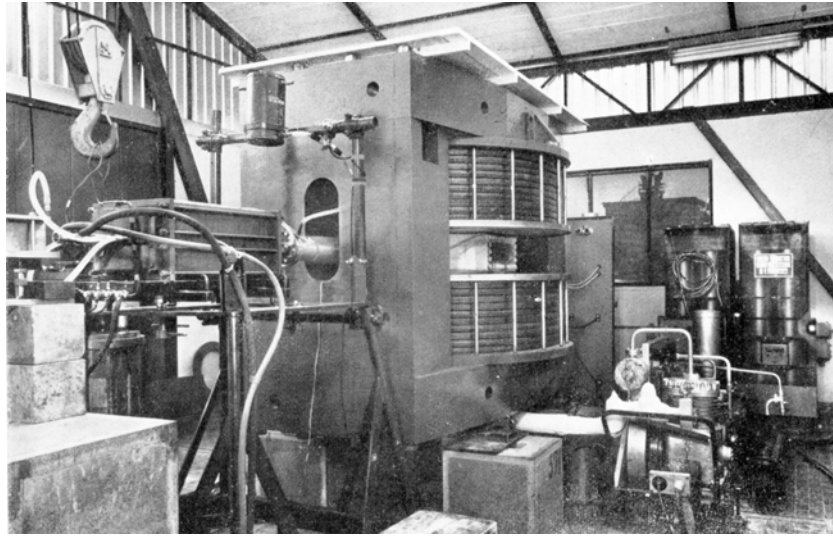
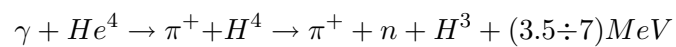


Figura 5.4: Insieme dell'apparato sperimentale sul lato destro rispetto alla direzione del fascio γ . Sono riconoscibili: il magnete pulitore del fascio (in primo piano a sinistra), il magnete e parte del canale di ingresso del fascio nella camera, il gruppo frigorifero (in primo piano a destra), il banco dei condensatori per l'alimentazione dei flash, in secondo piano a destra (Fig. 6 lavoro [7]).

Trasferito altrove in altra sede, le ricerche sarebbero proseguite da parte dei collaboratori di chi scrive.

Tra i risultati fisici più significativi, ottenuti a Frascati esponendo la prima camera al fascio γ dell'elettrosincrotrone, si ricorda l'osservazione nel 1962 dell'isotopo instabile H^4 attraverso il processo di fotoproduzione



Questa scoperta ha avuto larga risonanza internazionale.

Maggiori dettagli si trovano nel lavoro di P. E. Argan, G. Bendiscioli, A. Piazzoli, V. Bisi, M.I. Ferrero, G. Piragino, "Photoproduction of π^+ mesons in He^4 " [8].

Lo stesso gruppo ha poi studiato alcune reazioni γ -nucleo e un gruppo diverso, ma successivamente, processi di diffusione elastica di protoni polarizzati a piccoli angoli ($\leq 10^\circ$), presso il ciclotrone di Milano dove tutto

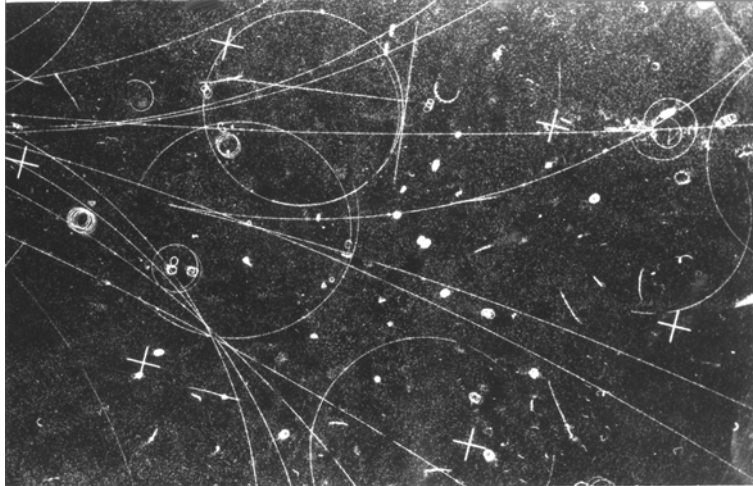


Figura 5.5: Foto ottenuta in camera a diffusione (idrogeno a 18 atm e con un campo magnetico di 7500 G) esposta al fascio fortemente ridotto di γ dell'elettrosincrotrone di Frascati. È chiaramente visibile una coppia di elettroni prodotta nel campo del protone (Fig. 8 lavoro [7]).

l'apparato (ad eccezione del magnete) era stato trasferito da Frascati: studi ai quali chi scrive ha partecipato direttamente dopo il suo ritorno a Pavia. Maggiori dettagli sono rintracciabili nel lavoro di G. Bendiscioli, A. Gigli Berzolari, E. Lodi Rizzini, "Use of a diffusion cloud chamber for an experiment on the asymmetry at small angles ($\theta < 10^\circ$) in the elastic scattering of 40 MeV polarized protons" [18].

5.4.2 Studi sul comportamento delle soluzioni fortemente soprassature di gas in liquidi sotto l'azione di agenti ionizzanti

I precedenti studi sul comportamento della fase instabile di liquidi surriscaldati e portati a temperatura superiore a quella ambiente ($\approx 150^\circ\text{C}$) sotto l'azione di agenti ionizzanti condotti da Donald A. Glaser (premio Nobel per la Fisica 1960), avevano suggerito a chi scrive che effetti analoghi, e forse di più facile osservazione, potevano aver luogo nella fase liquida resa instabile diversamente e a temperatura ambiente; in particolare, che particelle ionizzanti, nell'attraversare una soluzione soprassatura di un gas in un



Figura 5.6: Fotodisintegrazione del nucleo di Ar in camera a diffusione (argon a 1 atm in campo magnetico di 18000 G) esposta al fascio fortemente ridotto di γ dell'elettrosincrotrone di Frascati.

liquido, potessero provocare la formazione di piccole cavità o bolle del gas disciolto e conseguente crescita a livello macroscopico. Si veda in proposito il lavoro di P. E. Argan e A. Gigli Berzolari, “A New Detector of Ionizing Radiation. The Gas Bubble Chamber” [9].

Sulla base dei risultati ottenuti (il primo sistema studiato era costituito da una miscela anidride carbonica–etere) è stato possibile affermare quanto segue:

- 1) La liberazione del gas sotto forma di bolle, quando la soluzione di esso in un liquido era portata ad un grado di soprassaturazione sufficientemente elevato, era innescata in quei punti dove un agente ionizzante dissipava un ammontare sufficientemente grande della propria energia.
- 2) Tale effetto del tutto nuovo e originale poteva essere utilizzato vantaggiosamente per la visualizzazione della traiettoria di particelle ionizzanti.

Il lavoro sperimentale e teorico che ne è seguito, si può riassumere brevemente nei seguenti punti:

- a) Studi sul comportamento di miscele di vario tipo sia per chiarire alcuni aspetti del nuovo effetto osservato, sia per la realizzazione di dispositivi di rivelazione di particelle ionizzanti (“camere a bolle” a gas disciolto) vantaggiosi rispetto a quelli (“camere a bolle” a liquido surriscaldato) proposti da Glaser. Particolare attenzione è stata posta a sistemi costituiti da gas e liquidi ad elevato contenuto di idrogeno (basso numero atomico Z); tra questi ultimi sono stati sperimentati con successo i sistemi etano–propano,

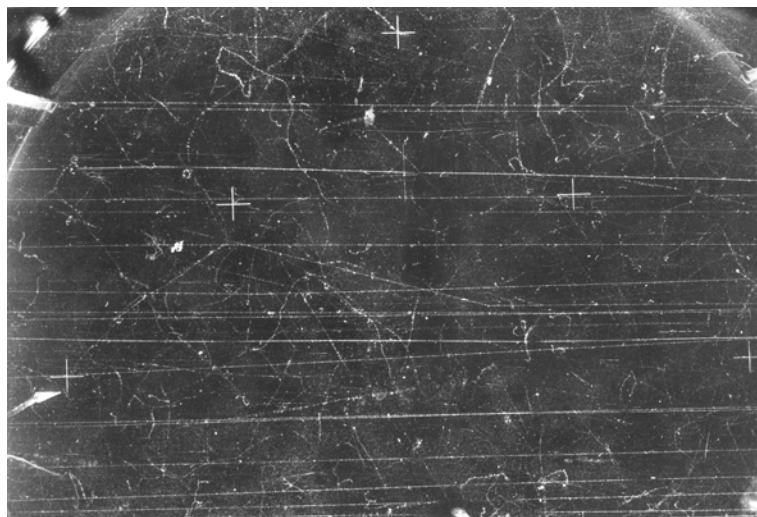


Figura 5.7: Scattering di protone polarizzato (ciclotrone di Milano da 20 MeV) insieme a protoni polarizzati di fondo.

metano–propano, etilene–propano ed anidride carbonica–propano. Superando poi difficoltà tecniche non lievi, sono stati studiati liquidi pesanti (alto numero atomico Z) fino al sistema anidride carbonica–tetracloruro di stagno. Il betatrone (elettroni fino a 20 MeV) è stato utilizzato come sorgente di particelle ionizzanti.

I risultati ottenuti hanno confermato le previsioni sulla efficienza e sensibilità delle miscele gas–liquido (leggere e pesanti) sovrassature, a temperature ambiente, agli effetti della rivelazione di particelle ionizzanti. Gli intervalli temporali di sensibilità alla radiazione ionizzante erano almeno dieci volte superiori a quelli delle camere a liquido surriscaldato.

b) Interessante, per quell’epoca, è stato il risultato – ottenuto da misure di ionizzazione attraverso il conteggio del numero di bolle lungo una traccia e formate nella unità di lunghezza – che ha messo in evidenza l’inizio della salita relativistica della perdita di energia di elettroni veloci ($E > 5$ MeV). Tale effetto è del 6% per una variazione di energia da 5 a 20 MeV (betatrone) in buon accordo con le previsioni teoriche.

Tutto il lavoro svolto su questi temi è caduto in quel periodo pionieristico che ha visto impegnati numerosi laboratori nella ricerca di nuovi effetti utili per la realizzazione di rivelatori di particelle ionizzanti. Il lavoro svolto

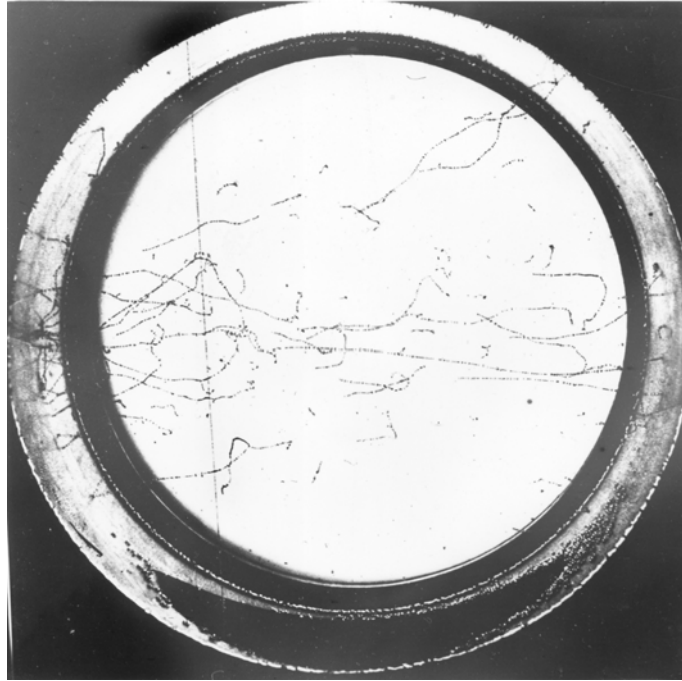


Figura 5.8: Camera a bolle a gas disciolto a basso Z (metano→propano) esposta al fascio fortemente ridotto di γ del betatrone (100 MeV) in coincidenza casuale con particella penetrante della radiazione cosmica.

da chi scrive e dai suoi collaboratori (Argan e successivamente Giovanna Tomasini, Luigi Gonella, Emilio Picasso e Mario Conte) si è discostato dagli altri per originalità di concezione e per l'impulso che ha saputo dare alla realizzazione di quei rivelatori a miscela gas-liquido di grandi dimensioni. Negli anni Sessanta e Settanta i rivelatori a liquidi surriscaldati (o a soluzioni gas-liquido) hanno avuto un ruolo importante nella fisica delle particelle elementari nei più grandi laboratori del mondo.⁴

Il lavoro di chi scrive e dei suoi collaboratori ha avuto lusinghieri riconoscimenti in congressi internazionali (Ginevra, Londra) e sulla letteratura internazionale (è sufficiente citare, per fare alcuni esempi estremi, i volumi di archivio: *Bubble and Spark Chamber*, a cura di R. P. Shutt; *Handbuch der Physik*, a cura di S. Flügge; nonché numerose enciclopedie e libri di

⁴Si vedano i lavori da [9] a [17].

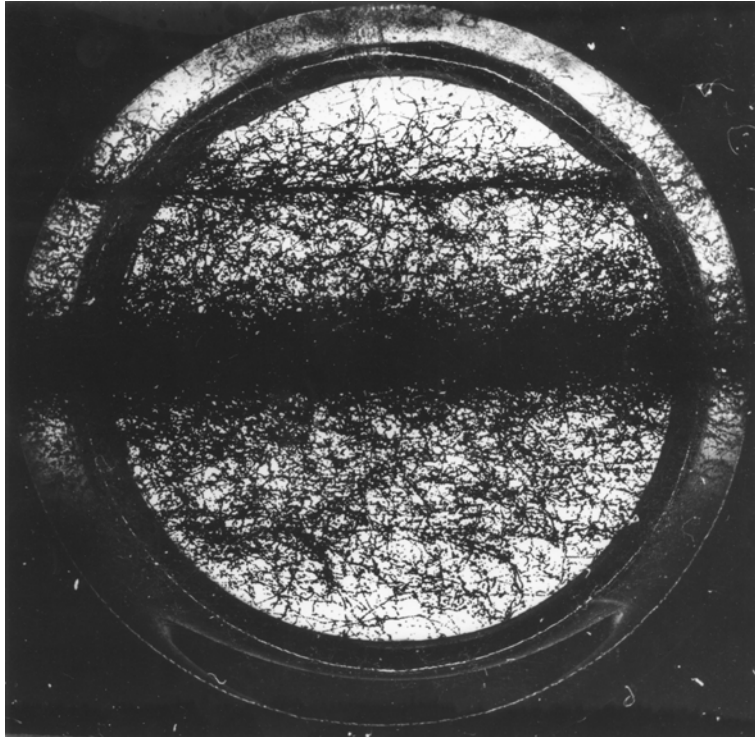


Figura 5.9: Camera a bolle a gas disciolto a basso Z (metano→propano) esposta al fascio parzialmente ridotto di γ del betatrone (100 MeV), spezzato in due a diversi stadi di riduzione.

divulgazione scientifica).

5.5 Gli esperimenti NADIR e NN2

Le ricerche sui rivelatori visualizzanti venivano interrotte per qualche anno associando parte dei collaboratori di chi scrive a una ricerca di frontiera che riguardava il problema di fondo e generale della instabilità della materia (gruppo NADIR).

Stabilire i limiti di validità delle leggi sulla conservazione del numero bario-nico nelle interazioni fondamentali era uno dei punti cruciali di verifica della correttezza delle teorie superunificate (Grand Unified Theories – GUT). Fin dal 1967 A. Sacharov, investigando le possibili cause per la asimmetria del

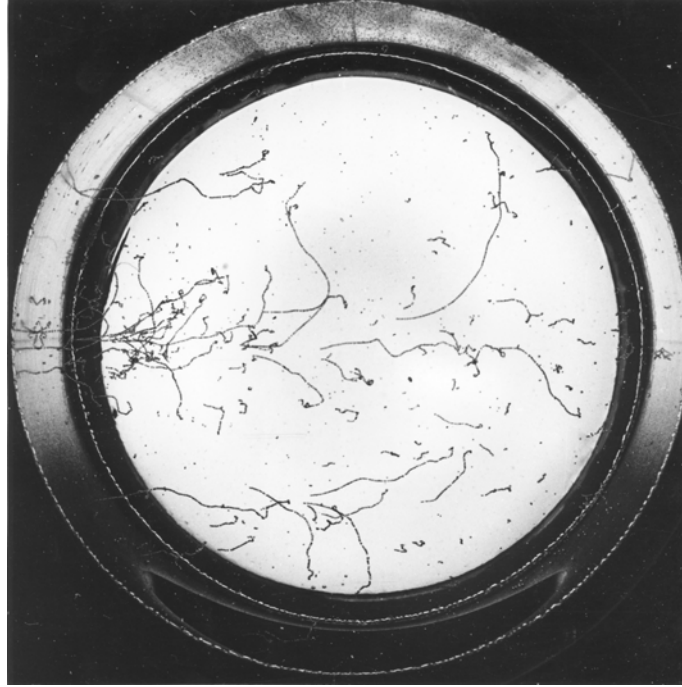


Figura 5.10: Camera a bolle a gas disciolto ad alto Z (65% di SnCl_4 +35% di CClF_3 in peso) esposta al fascio fortemente ridotto di γ del betatrone (100 MeV).

contenuto in barioni che si osserva nell'universo, suggeriva la possibilità che esistesse una interazione nella quale non si conservasse il numero barionico. Era stata riconosciuta la necessità di una ricerca sperimentale sulle possibili transizioni tra gli stati neutri neutrone–antineutrone ($n\bar{n}$) con variazione $\Delta B=2$ del numero barionico B. Lo sviluppo dei modelli basati sulle GUT che comprendono le simmetrie destra–sinistra prevedeva probabilità di transizione corrispondenti a tempi di oscillazione $\tau(n\bar{n})$ entro limiti misurabili sperimentalmente ($10^5\text{s} - 10^8\text{s}$) mentre nello schema GUT basato sul Modello Standard elettrodebole di gauge, dovuto a Sheldon Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg (premio Nobel per la fisica 1979), le transizioni ($n\bar{n}$) erano molto compresse.

Per queste ragioni era problema di fondo la determinazione del periodo di oscillazione $\tau(n\bar{n})$ per la transizione neutrone–antineutrone usando neutroni termici o raffreddati prodotti con reattori nucleari. La ricerca è stata

effettuata dal gruppo NADIR con un dispositivo particolarmente impegnativo e sofisticato utilizzando quale sorgente di neutroni il reattore nucleare Triga Mark II della Università di Pavia. Il limite inferiore di oscillazione neutrone–antineutrone $\tau(n\bar{n})$ (con il 90% del livello di confidenza) è risultato pari a $4.7 \cdot 10^5$ s [19].

Se NADIR era un esperimento di 2^a generazione, NN2 era un esperimento di 3^a generazione. Esso ha avuto inizio nel 1989, con la partecipazione del gruppo di collaboratori di chi scrive ed altri. Le motivazioni fisiche erano esattamente le stesse ma i due esperimenti differivano profondamente sia per le caratteristiche della sorgente di neutroni impiegata nonché per il canale di propagazione dei neutroni, sia per il sistema di rivelazione dei prodotti di interazione degli antineutroni con i nuclei del bersaglio (il bersaglio era lo stesso nei due casi).

La sorgente di neutroni utilizzata nell'esperimento NN2 era fornita dal reattore dell'Istituto Laue Langevin (ILL) di Grenoble. Si trattava di un reattore del tipo High Flux Reactor (HFR) ottimizzato per la produzione di fasci di neutroni particolarmente intensi da utilizzare sia in esperimenti di fisica fondamentale, sia in misure di fisica dello stato solido o di chimica dei polimeri.

Il limite inferiore del tempo di oscillazione neutrone–antineutrone (con livello di confidenza del 90%) è risultato: $\tau(n\bar{n}) \geq 0.86 \cdot 10^8$ s. Da confrontare con quello ottenuto con NADIR: $\tau(n\bar{n}) \geq 0.47 \cdot 10^6$ s [20].

Le caratteristiche generali dei due esperimenti, sottolineando un netto salto tecnologico tra NADIR e NN2 (potenza dei reattori coinvolti, riduzione sensibile dei fondi da quanti γ in NN2, dispositivo di rivelazione dei mesoni π da annichilazione su nucleo di antineutroni certamente più sofisticato in NN2 ecc.) cosicché il risultato ottenuto con NN2 ha un grado di affidabilità decisamente superiore.

I due esperimenti hanno congiuntamente esplorato l'intervallo temporale 10^5 s – 10^8 s per le oscillazioni di $(n\bar{n})$ come indicato dai modelli perfezionati di GUT al di fuori dello schema basato sul Modello Standard elettrodebole di gauge.

5.6 La sperimentazione intorno al progetto ICARUS (anni 1990)

Sul finire dell'esperimento sulle oscillazioni neutrone-antineutrone effettuata a Grenoble (1992), parte del gruppo prendeva in considerazione una possibilità intorno a un rivelatore visualizzante di particelle ionizzanti di nuova concezione e sperimentato con successo nei laboratori del CERN (tecnica che era stata proposta nel 1970 da Emilio Gatti [22] e ripresa da Pio Picchi e collaboratori) attraverso prototipi via via crescenti.

Si era formata la collaborazione ICARUS (Imaging Cosmic And Rare Underground Signals) sotto la guida di Carlo Rubbia e con la partecipazione di ricercatori di diverse Università italiane e straniere.

Il Gruppo di Pavia avrebbe guadagnato in poco tempo un peso rilevante all'interno della collaborazione ICARUS. Chi scrive si associava alla collaborazione mosso sostanzialmente dal fatto che la sperimentazione allora in corso lo riportava ad occuparsi di rivelatori visualizzanti di particelle ionizzanti. Aveva operato con camere a diffusione di cui aveva formulato, insieme ai suoi collaboratori, una teoria di funzionamento, aveva messo in evidenza un nuovo effetto dovuto alle radiazioni ionizzanti in soluzioni gas-liquido fortemente soprassature, dando via a un nuovo tipo di rivelatore, la camera a bolle a gas disciolto. Era una attività che lo aveva divertito e il tornare ad occuparsi di analoghi problemi è stato per lui allettante.

Il programma sperimentale proposto dalla collaborazione ICARUS ha come scopo ricerche sul decadimento del protone e lo studio delle oscillazioni di neutrino, estendendo quindi il suo campo di indagine a neutrini solari, neutrini atmosferici e, probabilmente in un prossimo futuro, a neutrini prodotti presso i Laboratori del CERN e indirizzati verso l'apparato ICARUS installato in uno dei Laboratori del Gran Sasso. ICARUS prevede la realizzazione, quale obiettivo finale, di una camera a proiezione temporale (*Time Projection Chamber* -TPC) ad argon liquido da 5000 tonnellate; tale massa attiva verrà realizzata componendo una serie di moduli indipendenti da 600 tonnellate. Il primo modulo indipendente è stato interamente realizzato a Pavia per essere poi trasferito su strada nei laboratori del Gran Sasso; al primo seguiranno i successivi fino a raggiungere le complessive 5000 tonnellate.

La TPC progettata per la collaborazione ICARUS è un rivelatore dalla struttura alquanto semplice ma dotato di almeno due o tre simmetrie geo-

metriche. Il principio di funzionamento di una TPC cerca di riprodurre elettronicamente e, per certi aspetti, il funzionamento di una camera a bolle. Il passaggio di una particelle carica produce la ionizzazione di un liquido rivelatore criogenico (argon liquido a 90.5 K di temperatura e 1.2 bar assoluti di pressione) lungo la sua traiettoria. Un campo elettrico uniforme viene applicato nel liquido stesso producendo la migrazione (*drift*) di elettroni e ioni a velocità costante v_d in direzioni opposte.

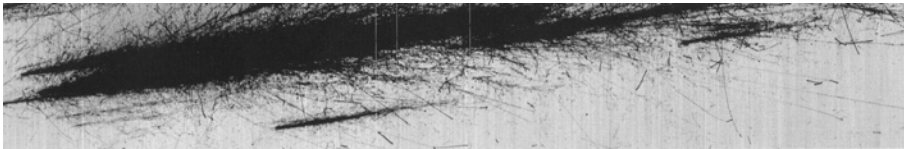


Figura 5.11: Sciame elettromagnetico gigante, lungo 8 m e largo 1 m. Il primario è un raggio gamma della radiazione cosmica di grande energia.

Gli elettroni si accumulano su un anodo formato da un piano di fili conduttori rettilinei e paralleli tra loro (*piano di induzione*) e da un secondo piano, analogo al primo, ad esso parallelo e a poca distanza, ma con i fili perpendicolari a quelli del primo (*piano di collezione*).

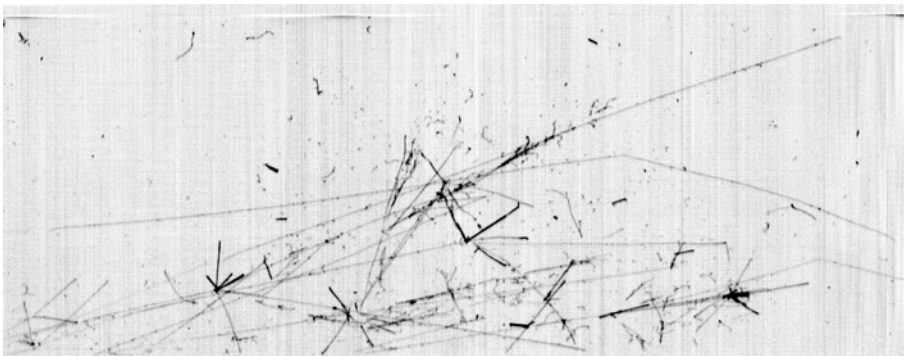


Figura 5.12: Interazioni adroniche multiple. L'estensione orizzontale è di 6 m, la verticale di 2 m. La particella primaria è un raggio cosmico.

Per la costanza della velocità di migrazione la traccia viene “rigidamente” trasferita sui due piani lungo l'asse ad essi ortogonale dove viene raccolta e digitalizzata. Riunendo le varie sezioni si ricostruisce la struttura tridi-

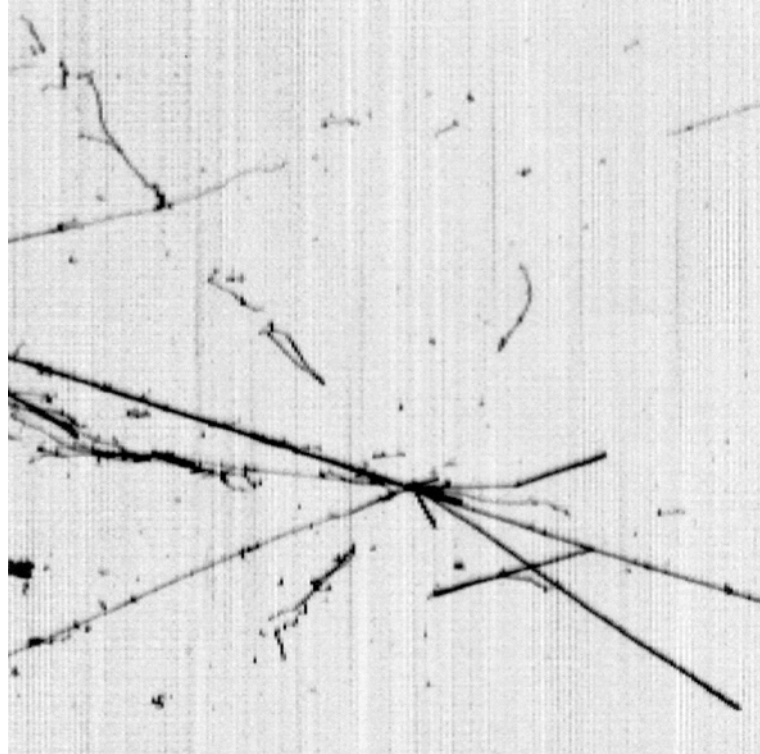


Figura 5.13: Interazione di un raggio cosmico con un nucleo di argon con produzione di un mesone π^0

mensionale della traccia. Il moto delle cariche relativo ai fili del *piano di induzione* induce in essi una corrente che viene rivelata dall'elettronica di lettura.

La presenza di segnale sui fili *di induzione* funge da trigger ed avvia il sistema di misura connesso ai fili del *piano di collezione* posto al di là del *piano di induzione*. Lo scopo del *piano di collezione* è quello di raccogliere e misurare la carica in arrivo che è proporzionale all'energia ceduta dall'elettrone.

La posizione della carica nello spazio viene ricostruita in un sistema cartesiano a tre assi definiti dai piani di lettura e dall'asse di *drift* ad essi ortogonale (asse z); gli altri due assi corrispondono alle direzioni dei fili appartenenti alle due griglie: quella *del piano di induzione* (asse x) e quella

del piano di collezione (asse y).

Mentre i fili di induzione forniscono il trigger e la posizione su di un'asse, i fili di collezione forniscono la carica depositata e la sua posizione sull'asse ortogonale ai fili di induzione. Ciascun filo di collezione è connesso con un preamplificatore ed un convertitore analogico/digitale che campionano la carica e trasferiscono la misura alla catena di elaborazione. Quando un segnale di trigger viene inviato dal sistema dei fili di induzione i convertitori analogico/digitale iniziano a campionare i fili di collezione ad intervalli di tempo costante t_s , l'istante di trigger t_t , segnando l'origine dell'asse dei tempi. Data la costanza di v_d , la posizione sull'asse z della carica campionata al tempo t_t è: $z_i = v_d(t_i - t_t)$, contemporaneamente l'informazione relativa a quali fili si attivano fornisce la restante informazione spaziale.

Ciascun modulo da 600 tonnellate lavora come una TPC indipendente. È costituito da due criostati a doppia parete in acciaio inox il cui isolamento termico è garantito dal vuoto nell'intercapedine e divisi in due camere di lettura dal piano del catodo. Tutte le parti del criostato sono a tenuta e un insieme di flange permette di far passare attraverso la parete del criostato tutti i necessari collegamenti con l'esterno. I piani di lettura sono disposti vicino alle pareti del criostato. Attorno al rivelatore verrà disposto uno schermo di boro ed acqua per eliminare il fondo di neutroni (Laboratori del Gran Sasso).

A parte qualche dettaglio, del resto spesso importante, lo stato dell'arte è più o meno quello descritto. La fase attuale di progettazione e di costruzione (almeno per aspetti ormai consolidati) vede continue varianti e miglioramenti dando al progetto sempre più una operatività altamente professionale.

Con il procedere, sia della progettazione, sia delle costruzioni, si sono susseguiti rapporti su giornali scientifici o su rendiconti di congressi internazionali scendendo sempre più nei dettagli più significativi; tali rapporti hanno ormai raggiunto la quarantina nei circa 15 anni di attività.⁵

⁵Per un lavoro riassuntivo di tali rapporti si veda S. Amerio *et al.* [22].



Design, construction and tests of the ICARUS T600 detector

S. Amerio^a, S. Amoruso^b, M. Antonello^c, P. Aprili^d, M. Armenante^b, F. Arneodo^d, A. Badertscher^e, B. Baiboussinov^d, M. Baldo Ceolin^a, G. Battistoni^f, B. Bekman^g, P. Benetti^h, E. Bernardini^d, M. Bischofberger^e, A. Borio di Tigliole^h, R. Brunetti^h, R. Bruzzese^b, A. Bueno^{e,i}, E. Calligarich^h, M. Campanelli^e, F. Carbonara^b, C. Carpanese^e, D. Cavalli^f, F. Cavanna^c, P. Cennini^j, S. Centro^d, A. Cesana^{k,f}, C. Chen^l, D. Chen^l, D.B. Chenⁿ, Y. Chen^l, R. Cid^l, D.B. Cline^m, K. Cieřlikⁿ, A.G. Cocco^b, D. Corti^a, Z. Dai^e, C. De Vecchi^h, A. Dąbrowskaⁿ, A. Di Cicco^b, R. Dolfini^h, A. Ereditato^h, M. Felcini^c, A. Ferella^c, A. Ferrari^{h,f}, F. Ferri^c, G. Fiorillo^b, S. Galli^c, D. Garcia Gamez^l, Y. Ge^e, D. Gibin^a, A. Gigli Berzolari^h, I. Gil-Botella^c, K. Graczyk^o, L. Grandi^h, A. Guglielmi^a, K. He^l, J. Holeczek^e, X. Huang^l, C. Juszczak^o, D. Kieřczewska^{p,q}, J. Kisiel^g, T. Kozłowski^p, H. Kuna-Ciskal^f, M. Laffranchi^e, J. Łagoda^q, Z. Li^l, B. Lisowski^m, F. Lu^l, J. Ma^l, G. Mangano^b, G. Mannocchi^{h,l}, M. Markiewiczⁿ, A. Martinez de la Ossa^l, C. Matthey^m, F. Mauri^h, D. Mazza^c, A.J. Melgarejo^l, A. Menegolli^h, G. Mengⁿ, M. Messina^c, J.W. Mietelskiⁿ, C. Montanari^h, S. Muraro^l, S. Navas-Concha^{e,t}, M. Nicoletto^a, J. Nowak^o, G. Nurzia^c, C. Osuna^l, S. Otwinowski^m, Q. Ouyang^l, O. Palamara^d, D. Pascoli^a, L. Periale^{s,t}, G. Piano Mortari^c, A. Piazzoli^h, P. Picchi^{u,v}, F. Pietropaolo^a, W. Póřchlopek^v, M. Prata^h, T. Rancati^f, A. Rappoldi^h, G.L. Raselli^h, J. Rico^e, E. Rondio^p, M. Rossella^h, A. Rubbia^c, C. Rubbia^{h,*}, P. Sala^{r,c}, R. Santorelli^b, D. Scannicchio^h, E. Segreto^c, Y. Seo^m, F. Sergiampietri^{m,w}, J. Sobczyk^o, N. Spinelli^b, J. Stepaniak^p, R. Sulej^x, M. Szeptycka^p, M. Szarskaⁿ, M. Terrani^{k,f}, G. Trinchero^{s,t}, R. Velotta^b, S. Ventura^a, C. Vignoli^h, H. Wang^m, X. Wang^b, J. Woo^m, G. Xu^l, Z. Xu^l, X. Yang^m, A. Zalewskaⁿ, J. Zalipska^p, C. Zhang^l, Q. Zhang^l, S. Zhen^l, W. Zipper^g

Collaborazione ICARUS: ^aUniversità di Padova e INFN, Padova, Italy; ^bUniversità Federico II di Napoli e INFN, Napoli, Italy; ^cUniversità dell'Aquila e INFN, L'Aquila, Italy; ^dINFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Assergi, Italy; ^eInstitute for Particle Physics, ETH Hōnggerberg, Zūrich, Switzerland; ^fUniversità di Milano e INFN, Milano, Italy; ^gInstitute of Physics, University of Silesia, Katowice, Poland; ^hDipartimento di Fisica Nucleare e Teorica, Università di Pavia e INFN, Pavia, Italy; ⁱDpto de Fisica Teórica y del Cosmos & C. A. F. P. E., Universidad de Granada, Granada, Spain; ^jCERN, Geneva, Switzerland; ^kPolitecnico di Milano (CESNEF), Milano, Italy; ^lIHEP – Academia Sinica, Beijing, People's Republic of China; ^mDepartment of Physics, UCLA, Los Angeles, USA; ⁿNiewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Kraków, Poland; ^oInstitute of Theoretical Physics, Wrocław University, Wrocław, Poland; ^pA. Soltan Institute for Nuclear Studies, Warszawa, Poland; ^qInstitute of Experimental Physics, Warsaw University,

Warszawa, Poland; ^rInstitute of Mechanics and Machine Design, Kraków University of Technology, Kraków, Poland; ^sIFSI, Torino, Italy; ^tINFN – Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italy; ^uUniversità di Torino, Torino, Italy; ^vUniversity of Mining and Metallurgy, Kraków, Poland; ^wINFN, Pisa, Italy; ^xWarszawa University of Technology, Warszawa, Poland. I nominativi sottolineati sono relativi all'Università e alla sezione INFN di Pavia.

Bibliografia

- [1] A. Langsdorf Jr., A continuously sensitive diffusion cloud. chamber, *Review of Scientific Instruments* 10, 91 (1939).
- [2] E. W. Cowan, *Review of Scientific Instruments* 21, 991 (1950); T. Needels and G. Needels, *R.S.I.* 21, 976 (1950); G. Nielsen. T. Needels and O. Veddle, *R.S.I.* 22, 673 (1951).
- [3] R. P. Shutt, A Theory of Diffusion Cloud Chambers, *Review of Scientific Instruments* 22, 730 (1951); C. Succi, G. Tagliaferri, *Nuovo Cimento* 9, 1092 (1952); A. Lovati , C. Succi, *Nuovo Cimento* 11, 963 (1953); A.R. Bevan, *J.Sci. Instrum.* 31, 45 (1954).
- [4] E. C. Fowler. W. B. Fowler, R. P. Shutt, W. L. Thorndike, *Phys Rev.* 91, 135 (1953); W. B. Fowler, R. P. Shutt, A. M. Thorndike, W. L. Whittemore, *Phys. Rev.*, 93, 861 (1954); W. B. Fowler, R. P. Shutt, A. M. Thorndike. W. L. Whittemore, *Phys. Rev.* 95. 1026 (1954); E. J. Fireman, D. Shwarzer, *Phys. Rev.*, 94, 385 (1954); M. H. Alston. A. W. Crewe, W. H. Evans, L. L. Green, J. C. Willmott, *Proc. Phys. Soc. A.*, 67, 657 (1954).
- [5] J. Kuusinen, *Ann. der Phys.* 24, 445 (1935).
- [6] P. E. Argan, N. D'Angelo, A. Gigli Berzolari, *La Ricerca Scientifica* 24, 1006 (1954); P. E. Argan, N. D'Angelo, A. Gigli Berzolari, Remarks on the Operations on the Diffusion Cloud Chamber I, *Nuovo Cimento* 1, 761 (1955); P. E. Argan, N. D'Angelo, A. Gigli Berzolari, Theoretical Considerations on the Operation of the Diffusion Cloud Chamber, *Conference on Recent Developments in Cloud-Chamber and Associated Techniques*, University College, Londra (1955); P. E. Argan, A. Gigli Berzolari, Remarks on the Operations of the Diffusion Cloud Chamber II, *Nuovo Cimento* 3, 1337 (1956).
- [7] P. E. Argan, G. Bendiscioli, V. Bisi, A. Gigli Berzolari, A. Piazzoli, E. Picasso, G. Piragino, Due camere a diffusione per esperienze con gli elettrosincrotroni da 1100 MeV di Frascati e da 100 MeV di Torino, *Supplemento al Nuovo Cimento* 17, 215 (1960).
- [8] P. E. Argan. G. Bendiscioli, A. Piazzoli, V. Bisi, M. I. Ferrero, G. Piragino, Photoproduction of π^+ mesons in He^4 , *Physical Review Letters* 9, 405 (1962).
- [9] P. E. Argan, A. Gigli Berzolari, A new Detector of Ionizing Radiation. The Gas Bubble Chamber, *Nuovo Cimento* 3, 171 (1956).

- [10] P. E. Argan, A. Gigli Berzolari, On the Bubble Formation in Supersaturated Gas–Liquid Solutions, *Nuovo Cimento* 4,953 (1956).
- [11] P. E. Argan, A. Gigli Berzolari, L. Gonella, E. Picasso, G. Tomasini, Recent Developments in Gas Bubble Chamber Technique, *Convegno Padova–Venezia*, 22–28 settembre (1957).
- [12] P. E. Argan, A. Gigli Berzolari, L. Gonella, E. Picasso, G. Tomasini, Remarks about Gas Bubble Chamber Characteristics, *International Conference On the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Ginevra, settembre 1958.
- [13] P. E. Argan, A. Gigli Berzolari, E. Picasso, G. Tomasini, Remarks about Gas Bubble Chamber Sensitivity, *Nuovo Cimento* 10, 177 (1958).
- [14] P. E. Argan, M. Conte, A. Gigli Berzolari, L. Gonella, E. Picasso, High Density and Large Atomic Number Systems for Gas Bubble Chambers, *Nuovo Cimento* 10, 182 (1958).
- [15] A. Gigli Berzolari, Further Developments in Gas Bubble Chamber Technique, *Informal Meeting on Heavy Liquid Bubble Chambers*, CERN, Ginevra, 26–27 gennaio (1959).
- [16] P. E. Argan, G. Bendiscioli, A. Gigli Berzolari, E. Picasso, G. Piragino, Energy Loss of fast Electrons in Bubble Chamber, CNEN 160 (1962).
- [17] P. E. Argan, P. Benvenuto, D. Fabbri, L. Fiore, G. Gialanella, E. Lodi Rizzini, L. Maiani, G. C. Mantovani, C. Marciano, A. Piazza, G. Piragino, V. Rossi, G. Susinno, Una camera a bolle a miscela pesante gas–liquido di 70 litri di volume con bersaglio di idrogeno, *Rapporto LNF 70z25*, Frascati (1970).
- [18] G. Bendiscioli, A. Gigli Berzolari, E. Lodi Rizzini, Use of a diffusion cloud chamber for an experiment on the asymmetry at small angles ($\leq 10^\circ$) in the elastic scattering of 40 MeV polarized protons, *Nucl. Instr. Methods* 113, 113 (1973).
- [19] G. Bressi, E. Calligarich, M. Cambiaghi, R. Cardarelli, M. Conversi, G. De Zorzi, R. Dolvini, A. Gigli Berzolari, A. Lanza, G. Liguori, F. Massa, F. Mauri, A. Piazzoli, S. P. Ratti, R. Santonico, D. Scannicchio, M. Terrani, P. Torre, D. Zanello, Search for free Neutron-Antineutron Oscillations, *Zeit. für Phys. C Particles and Fields* 43, 175 (1989).
- [20] M. Baldo Ceolin, P. Benetti, T. Bitter, F. Bobisut, E. Calligarich, R. Dofini, D. Dubbers, P. El-Muzeini, M. Genoni, D. Gibin, A. Gigli Berzolari, K. Gobrecht, A. Guglielmi, J. Last, M. Laveder, W. Lippert, F. Mattioli, F. Mauri, M. Mezzetto, C. Montanari, A. Piazzoli, G. Puglierin, A. Rappoldi, G. L. Raselli, D. Scannicchio, A. Sconza, M. Vascon and L. Visentin, A new experimental Limit on Neutron-Antineutron oscillation, *Zeit. für Phys. C Particles and Fields* 63, 409 (1994).
- [21] E. Gatti *et al.*, *IRFR Trans. Nucl. Sci.* NS–26, 2910 (1970).
- [22] S. Amerio *et al.*, Design, construction and test of the ICARUS T600 detector, *Nuclear Instruments and Methods* 527, 329 (2004).

Capitolo 6

Giorgio Careri

Nato a Roma il 16 luglio 1922, Giorgio Careri è vissuto a Tripoli fino all'età di 14 anni. Nonostante la passione per la fisica decide di iscriversi a Ingegneria, una scelta dettata dall'opportunità di avere una professione sicura. Durante i difficili anni di guerra rimane affascinato dal mondo della fisica attraverso l'incontro con il suo giovane professore, Edoardo Amaldi.

Nel 1945 si laurea in Ingegneria industriale chimica e rifiutando un'immediata offerta di lavoro della Bomprini Parodi Delfino decide di iscriversi a Fisica. Dopo la laurea i suoi interessi si orientano verso la nascente "Chemical Physics", ben lontani dalla fisica nucleare e dai raggi cosmici, che all'epoca erano al centro delle ricerche in corso a Roma e in altre parti d'Italia. Su proposta di Amaldi inizia a costruire uno spettrometro di massa per analisi isotopiche, il primo del genere in Italia.

Il primo congresso internazionale di fisica teorica del dopoguerra su argomenti di fisica statistica, organizzato a Firenze nella primavera del 1949 lo mette in contatto con l'ambiente internazionale. Conosce Lars Onsager ed è molto attratto da Joe Mayer, che lavora a Chicago, dove si trova anche Enrico Fermi. Grazie all'appoggio di Amaldi, Careri ottiene una borsa Fulbright grazie alla quale parte per Chicago. Tornato in Italia l'anno successivo riesce a completare la costruzione dello spettrometro di massa, un evento importante che permise di usare gli isotopi stabili per ricerche in due campi allora nuovi, la geochimica e la cinetica chimica. Nel 1955 vince il concorso per la cattedra di Fisica sperimentale a Bari, ma nel frattempo ha cominciato a interessarsi dell'elio liquido e delle basse temperature in concomitanza con la costruzione dell'elettrosincrotrone di Frascati, argomento di centrale interesse per l'epoca e che l'ha impegnato per almeno dieci anni. Chiamato all'Università di Padova, Careri comincia a lavorare con Franco Scaramuzzi

aprendo una nuova sperimentazione verso i vortici quantizzati che erano stati postulati da Lars Onsager nel 1949 e, indipendentemente, da Richard Feynman nel 1952.

Nel settembre del 1957 Careri, che dal 1951 era stato nominato successore di Ilya Prigogine nell'*International Union of Pure and Applied Physics*, organizza a Varenna il Convegno Internazionale sugli Stati Condensati della Materia, un interessante panorama sugli sviluppi e sulle nuove prospettive della fisica statistica. Fu in questo periodo che iniziò la sua amicizia con Lars Onsager e con Herbert Fröhlich i quali lo incoraggiarono a studiare l'effetto dell'acqua di idratazione sulle proteine globulari. Negli anni 1965–1967 Careri mette su un laboratorio a Roma per studiare lo spettro infrarosso delle proteine e inizia la sua amicizia e collaborazione con il biochimico Paolo Fasella.

Nel dopoguerra Careri, insieme ad una decina di giovani fisici italiani, aveva dato vita al nascente gruppo di Struttura della Materia, del quale sarà il primo segretario appena questo gruppo sarà riconosciuto dal CNR come GISM.¹ A partire dal 1964 Careri fa attivare il primo corso di Struttura della materia che lui stesso terrà fino al 1995. Nel 1967 diventa direttore dell'Istituto di Fisica di Roma e vive in pieno il dramma della contestazione. Nel frattempo viene contattato dall'ENI, che gli mette a disposizione una cifra considerevole per mettere in piedi un laboratorio di ricerca avanzata, che entrò in funzione nel 1970 a Monterotondo.

In quel periodo Careri propone una nuova immagine dell'enzima, che, in contrasto con quella tradizionale, gli attribuisce una struttura in movimento, fluttuante. L'idea piace molto a Onsager che collabora alla stesura del primo lavoro di Careri su questo argomento, "The fluctuating Enzyme". Subito dopo, nel 1975, scrive con Fasella e Gratton un lavoro che ebbe notevole risonanza intitolato "Statistical Time Events in Enzymes", facendo vedere che processi ben noti di assorbimento di energia, di ultrasuoni ecc., secondo il teorema di fluttuazione e dissipazione, dovevano implicare l'esistenza di fluttuazioni spontanee. Successivamente Careri fa ricerche sulla possibile esistenza di segnali di tipo fisico nelle proteine lavorando sul concetto di solitone.

Nel 1980 pubblica con Laterza il libro *Ordine e disordine nella materia* e successivamente, in collaborazione con John Rupley, comincia a studiare la risposta dielettrica di proteine allo stato quasi secco, un campo di ricerca nel quale ha poi continuato a lavorare.

La sua antica passione per l'arte lo porta nel 1973 ad entusiasinarsi per la scultura in legno e a cominciare a lavorare lui stesso questo materiale. La riflessione sul parallelismo tra scienze sperimentali e arti visive, l'analogia sul modo di operare di pittori e scienziati nel processo di scoperta e interpretazione della realtà, spingono Careri a scrivere una serie di articoli su questi argomenti pubblicati sulla rivista di

¹I dettagli di questo inizio sono raccontati da G. Boato in questo volume e nel volume [2] e da G. Chiarotti nel volume [1] e [2].

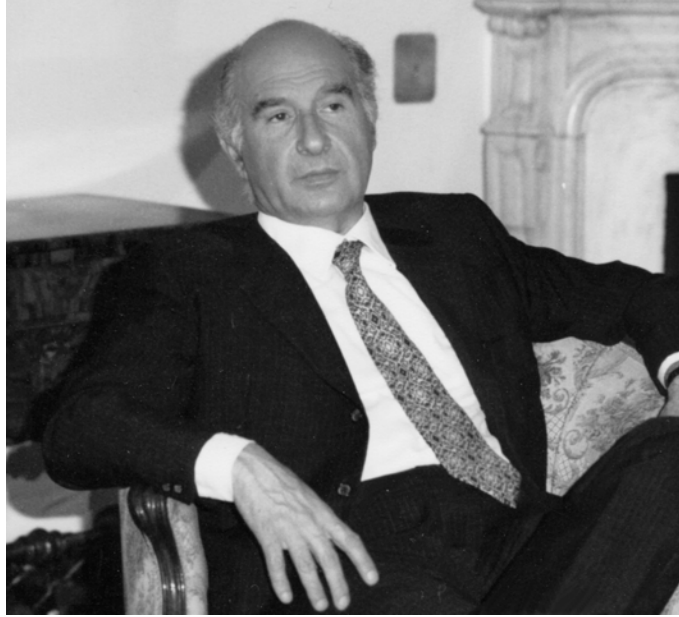


Figura 6.1: Giorgio Careri a Francoforte durante il *Symposium in Science and Art*, maggio 1979.

scienze, lettere e arti *Leonardo* pubblicata dal *Massachusetts Institute of Technology*, con cui ha collaborato insieme con Carlo Giulio Argan. Membro dell'Accademia dei Lincei, Careri fa parte, tra le altre, della francese *Académie Européenne des Sciences, Lettres et Arts* e della sua analoga americana, e dell'*Accademia Europea*. Per le sue scoperte nel 2006 ha avuto il premio Enrico Fermi della Società Italiana di Fisica.

6.1 Sguardo retrospettivo

La mia attività di ricerca si è divisa in tre periodi successivi.

Il primo va dal 1945, quando a 23 anni ho iniziato sotto la guida di Edoardo Amaldi a lavorare sugli isotopi stabili e ad approntare la tecnica della spettrometria di masse, al 1955 quando ho vinto il concorso per professore ed i miei interessi scientifici si sono concentrati sull'elio superfluido.

Il secondo periodo va dal 1955 a circa il 1965, tra Frascati, Padova e poi definitivamente Roma, nel quale ho approntato la tecnica delle basse tempe-

rature ed usato la nostra nuova tecnica degli elettroni prodotti da sorgenti beta per individuare le linee vorticali quantizzate nell'elio superfluido. Dopo aver verificato i limiti dell'idrodinamica di Landau, abbiamo messo in evidenza i vortici quantizzati con elettroni intrappolati nel *core* dei vortici, verificando nell'elio superfluido rotante il modello di Feynman. Questo fatto fu importante perché allora la quantizzazione della circolazione postulata da Onsager nel 1949 veniva osservata anche nei superconduttori.

Quando questo argomento è stato esaurito, ho iniziato uno studio fisico delle proteine globulari alla ricerca di fenomeni collettivi nel sistema di legami idrogeno, studio ancora in corso. Tra i maggiori risultati ricordo l'identificazione delle fluttuazioni spontanee nelle proteine, che allora erano considerate rigide, e la proposta di considerare la correlazione di queste fluttuazioni responsabile dell'attività enzimatica. Un altro risultato sperimentale è stato l'identificazione della soglia critica dell'attività enzimatica con la soglia percolativa che controlla il movimento dei protoni nell'acqua di idratazione della proteina.

Naturalmente questa attività è stata già ricordata in diverse occasioni in articoli di rassegna dove sono citati i lavori specifici con i miei numerosi collaboratori. Una sguardo di insieme sulla mia vita ed i miei interessi si trova nelle interviste rilasciate a Luisa Bonolis [1] e al Prof. Giuseppe Giuliani [2], e in una mia nota autobiografica [3]. Il primo periodo è stato considerato da Boato e Volpi [4] e da Turco [5] e viene ancora ripreso con altri dettagli in questa occasione. Il secondo periodo è stato presentato in dettaglio da Scaramuzzi e da me [6], mentre il terzo periodo è stato solo parzialmente riassunto in due occasioni [7] ed [8] perché è ancora in corso.

6.2 Spettrometria di massa per abbondanze isotopiche a Roma nel 1950

Mentre la spettroscopia di masse negli anni precedenti la guerra era stata usata in misure di precisione delle masse isotopiche per determinare le energie di legame intranucleari, durante e subito dopo la guerra fu applicata a misurare rapidamente le abbondanze relative di isotopi stabili per le applicazioni belliche, e per affrontare i problemi scientifici nuovi che erano emersi negli ultimi anni. Fu per questo insieme di ragioni che Edoardo Amaldi, che aveva la maggiore responsabilità del nascente Istituto di Fisica Nucleare, considerò appropriato per l'interesse futuro del Paese l'inserimento di

questa attività collaterale e di peso minore rispetto a quella centrata sulla fisica nucleare, ma sempre compatibile con gli scopi assegnati allo stesso Istituto. In realtà Amaldi e i suoi colleghi sapevano bene che la scienza o la si ha tutta o non la si ha affatto, e che non si può puntare solo sui picchi senza avere intorno un altopiano sul quale in seguito sarebbero emersi altri picchi. Le discipline più vicine allora erano la fisica matematica, perchè base della fisica teorica, e la chimica fisica perchè collegata con la struttura della materia che si andava formando come disciplina autonoma. E ancora bisogna aggiungere che oltre a queste ragioni di carattere sociale, gli uomini interessati ai problemi scientifici erano pochi, e che questi pochi erano interessati a tutti i problemi più importanti del momento. Oggi la situazione è ben diversa, con la formazione di gruppi chiusi concentrati su problemi particolari, anche a causa dei forti finanziamenti richiesti. Perciò un insieme di fattori di opportunità sociale e di interesse scientifico favorì questi studi sulle abbondanze isotopiche, sviluppati in forma artigianale perchè all'epoca non esistevano strumenti commerciali.

Nel 1945 quando iniziò il programma sopra accennato io avevo 23 anni. Ero appena laureato in ingegneria chimica perchè attratto dalla fisica chimica, ma non avevo ancora una esperienza di laboratorio, e con l'aiuto di alcuni studenti mi misi all'opera. Questi fatti sono stati ricordati in altre occasioni da punti di vista diversi di quelli di questa nota, e non saranno perciò riassunti. La mia motivazione scientifica risulta da una nota di carattere storico richiestami dalla Società Italiana di Fisica e pubblicata sul *Nuovo Saggiatore* [3] ove risulta il mio maggiore lavoro sulla quantizzazione della vorticità nell'elio liquido, da un articolo di rassegna a cura di G. Boato e G. G. Volpi [4], e da due interviste su aspetti più personali connessi con questa motivazione pubblicate in tempi recenti dal Professor Giuliani [2] e in un volume a cura della Dottoressa Bonolis e della Professoressa Melchionni [1]. Nel 2005 è stato anche pubblicato da Francesca Turco un libro che illustra la storia della spettroscopia di massa e delle sue applicazioni in Italia dalle origini romane ai nostri giorni [5]. Qualche sovrapposizione con queste pubblicazioni è qui inevitabile.

Lo spettrometro di masse costruito a Roma ricalcava il modello pubblicato da A. O. Nier [9] nel 1947 con pochi dettagli, con un settore magnetico a 60° , e non è stato più descritto nei lavori pubblicati dopo la sua realizzazione a Roma perchè non aveva un carattere di novità. La sua costruzione fu assai laboriosa perchè completamente artigianale e compiuta all'interno

dell'Istituto senza possibilità di reperire parti commerciali.

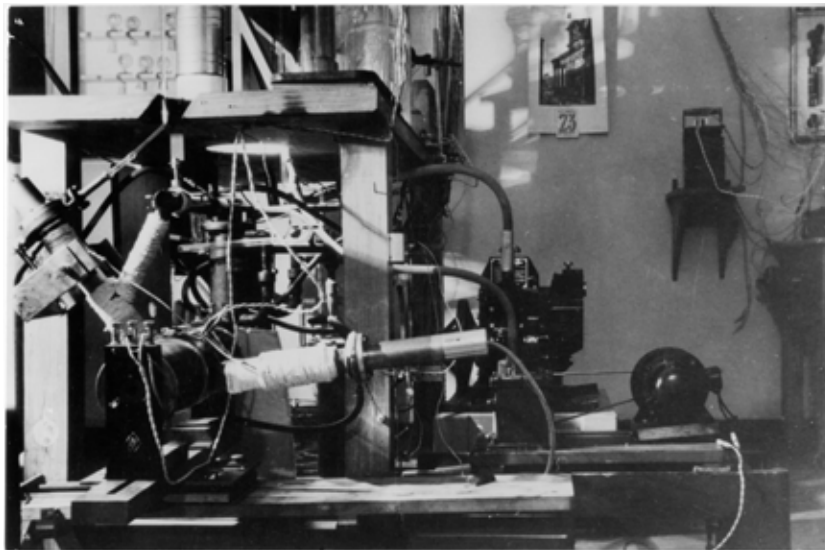


Figura 6.2: Lo spettrometro di massa costruito a Roma da Giorgio Careri.

Ci furono da superare almeno tre tipi di difficoltà. Anzitutto la misura del debole fascio di ioni raccolti dal collettore richiedeva un amplificatore a valvole di estrema sensibilità collegato ad un elettrometro a filo, con una resistenza stabile di valore elevatissimo. Questa resistenza era prodotta in U.S.A. ma era considerata materiale *classified* e fortunatamente fu portata in Italia da Emilio Segrè. Un'altra serie di difficoltà si presentò nelle saldature tra metallo e vetro per far passare gli elettrodi che controllavano i potenziali della sorgente di ioni attraverso l'ampolla di vetro, anch'essa saldata al settore di rame inserito tra i poli del magnete. Tutte queste saldature erano una perenne causa di buchi per l'alto vuoto, che veniva continuamente monitorato da un MacLeod a mercurio operato a mano. Ma la difficoltà pratica maggiore era costituita dalla mancanza di stabilizzatori di tensione per alimentare la sorgente di ioni, cosa che richiese l'uso di un grande numero di batterie di accumulatori da 6 Volt trovate nei campi dei residuati bellici lasciati a Livorno dall'esercito americano. Quasi ogni giorno qualche batteria della serie andava in avaria e doveva essere individuata e sostituita, perciò tra questa operazione e la necessità di scaldare



Figura 6.3: Giorgio Careri (a destra) e Giuliano Nencini con lo spettrometro di massa (circa 1949).

l'olio della pompa a vuoto (non avevamo il riscaldamento in inverno) passava quasi tutta la mattina. Oltre la costruzione materiale dello strumento, a quel tempo furono condotti degli studi sull'ottimizzazione dei campi elettrici nella sorgente di ioni [10, 11, 12] come furono in seguito sviluppati per moderni strumenti di tipo commerciale.

Lo spettrometro di masse per abbondanze isotopiche fu di fondamentale importanza in U.S.A. durante la guerra perchè così Nier e collaboratori riuscirono a produrre qualche microgrammo di uranio 235 che mostrò la fissione prevista da Bohr e Wheeler.

Su questa evidenza, utilizzando i magneti dei ciclotroni di Lawrence, furono separati nel Calutron i chilogrammi necessari alla costruzione della bomba. Nello stesso periodo, sempre in U.S.A., si sviluppò una spettrometria di massa per analisi rapida e continua di prodotti gassosi, come richiesto dalla grande industria petrolchimica impegnata pure nella guerra. Questi fatti crearono la convinzione che bisognava occuparsi di abbondanze isotopiche



Figura 6.4: Giorgio Careri con S. R. de Groot (a sinistra) a Varenna nel 1957.

anche in Italia. Allora il metodo più promettente ai fini dell'arricchimento dell'isotopo 235 sembrava essere la separazione in fase gassosa dell'esaffluoruro di uranio con tubi di Clusius, sfruttando la debole diffusione termica orizzontale tra due pareti a diversa temperatura (che dipende dalla massa) ed accoppiandola ad effetti convettivi tipo termosifone lungo un tubo verticale. Tubi del genere, assai fragili perchè di vetro e di difficile centratura data la lunghezza di almeno 30 metri, furono approntati nella mia tesi di laurea con Nestore Cacciapuoti, ed applicati al superamento del punto azeotropico delle miscele acqua alcool etilico. Ma questo progetto fu presto abbandonato in vista di dover lavorare con l'esaffluoruro di uranio, gas aggressivo anche verso il vetro, ed anche perchè intanto emergevano problemi scientifici più interessanti.

6.3 Ricerche interdisciplinari

Un problema di grande interesse era allora la distribuzione delle abbondanze isotopiche nell'universo previste dalle nascenti teorie cosmogoniche. I dati sperimentali scartavano dalle previsioni teoriche nel caso dell'argon di



Figura 6.5: Varenna, settembre 1957, *Convegno Internazionale sugli Stati Condensati della Materia* organizzato da G. Careri. In barca G. A. Prinz, seduto sul primo gradino G. Careri e, dietro di lui, L. Onsager (a destra) e G. E. Uhlenbeck.

massa 40, e questo era attribuito alla presenza del potassio 40 nei minerali terrestri.

Il nostro gruppo, costituito da Gianni Boato, dal geofisico Mariano Santangelo e da me, collezionò una serie di gas naturali uscenti da fumarole e soffioni in diverse parti d'Italia, e trovò in tutti questi gas un sistematico arricchimento nell'isotopo dell'argon 40 che poteva arrivare fino al 25% del valore atmosferico [13] [14]. Inoltre, nei soffioni boraciferi di Larderello [15] il rapporto delle abbondanze isotopiche tra idrogeno e deuterio presenti nel vapore acqueo risultò fortemente diverso dal valore normale e fu attribuito alla temperatura del sottosuolo dove si originava il vapore, stimata da relazioni di termodinamica vicina a 600° .

Questi lavori convinsero subito i geochimici italiani delle possibilità offerte dalla spettroscopia di masse per abbondanze isotopiche, e infatti quando



Figura 6.6: Da sinistra: Lars Onsager, Roger Penrose e Giorgio Careri a Varenna (Como) nel 1961.

Boato si trasferì a Genova costruì per gli istituti di geochimica di Pisa e di Roma due spettrometri di questo tipo.

Un altro problema di interesse generale, anche più vicino ai miei interessi chimico fisici, era il disaccordo che veniva trovato tra la teoria delle reazioni chimiche, sviluppata da E. P. Wigner, G. C. Polany ed H. Eyring, e le misure fatte in Israele dai fratelli Ladislaus e Adalbert Farkas nella reazione chimica più semplice, quella dello scambio isotopico omogeneo in fase gassosa tra idrogeno e deuterio.

A questa revisione dei dati sperimentali collaborarono dei giovanissimi chimici, Alessandro Cimino, Ettore Molinari e Gian Gualberto Volpi, e la discrepanza fu individuata nella diffusione di ossigeno atmosferico attraverso la cella di quarzo dove avveniva la reazione così impropriamente catalizzata. Questo lavoro [16, 17, 18] fu molto apprezzato e pose il nostro gruppo



Figura 6.7: Da sinistra: Edoardo Amaldi, Giorgio Careri, Giorgio Salvini e Marcello Conversi nel novembre del 1964 (Accademia dei Lincei, Roma).

in una posizione di prestigio nella chimica fisica internazionale. La collaborazione con i giovani chimici fu importante perché portò ad una apertura verso la cinetica chimica allora trascurata in Italia, come documentato in dettaglio nell'articolo di rassegna già citato [2].

Una terza linea di carattere applicativo fu diretta alla costruzione di uno spettrometro di masse per analisi rapide e di routine di idrocarburi gassosi, come richiesto dall'industria petrolifera AGIP. Questo strumento non poteva più essere di tipo artigianale, quindi presi contatto con la nascente Italelettronica fondata da Renato Casale a Roma, nel quale gli alimentatori stabilizzati sostituivano le batterie.

A questo progetto partecipò Giuliano Nencini, che aveva seguito dall'inizio la costruzione del primo spettrometro artigianale, e che nel 1952 portò

a Cortemaggiore il primo prototipo industriale per controllare il processo di raffinazione del giacimento di metano allora scoperto nella zona. Uno strumento del tutto simile fu consegnato all'Istituto Superiore de Sanità a Roma per analisi di prodotti organici. In Europa, a quel tempo, oltre all'Italelettronica, solo la Metropolitan Vichers e l'Atlaswerke avevano iniziato a produrre strumenti commerciali.

Da quanto precede si vede come l'apertura culturale e l'impegno sociale di Edoardo Amaldi abbiano dato i frutti desiderati negli anni della ricostruzione, frutti ancora vivi tanto nella ricerca avanzata che nelle applicazioni. In Italia il gruppo degli spettroscopisti di massa conta ormai un migliaio di aderenti e fa capo alla Società Italiana di Chimica.

Bibliografia

- [1] L. Bonolis e M. G. Melchionni (a cura di), *Fisici Italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero*, Marsilio, 2003.
- [2] G. Giuliani, *Per una storia della fisica italiana 1945-1965*, la Goliardica Pavese, 2002.
- [3] G. Careri, Studi sperimentali di struttura della materia fondati sulla fisica statistica: Italia 1945-1965, *Il Nuovo Saggiatore* 1-2, 2003, 54.
- [4] G. Boato e G. G. Volpi, *Ann. Rev. Phys. Chem.* 50, 23, 1999.
- [5] F. Turco, *Archi e tracce*, La Goliardica Pavese, 2005.
- [6] G. Careri e F. Scaramuzzi, in G. Giuliani (a cura di), *1945-1960. The origins of Solid state physics in Italy*, SIF, 1988, 103.
- [7] G. Careri, *Progr. Biophys. Mol. Biol.* 70, 223, 1998.
- [8] G. Careri e M. Peyrard, *Cell. and Mol. Biol* 47, 745, 2001.
- [9] A. O. Nier, *Rev. Sci. Instr.* 18, 398, 1947.
- [10] G. Careri e G. Nencini, *N. Cim.* 7, 64, 1950.
- [11] G. Careri e G. Nencini, *J. Chem. Phys.* 18, 897, 1950.
- [12] G. Careri, *N. Cim.* 9, 128, 1952.
- [13] G. Boato, G. Careri e M. Santangelo, *Annali di Geofisica* 4, 111, 1951.
- [14] G. Boato, G. Careri e M. Santangelo, *N. Cim.* 9, 44, 1952.
- [15] G. Boato, G. Careri e G. G. Volpi, *N. Cim.* 9, 538, 1952.
- [16] G. Boato, G. Careri, A. Cimino, E. Molinari e G. G. Volpi, *N. Cim.* 10, 993, 1953.
- [17] G. Boato, G. Careri, A. Cimino, E. Molinari e G. G. Volpi, *J. Chem. Phys.* 24, 783, 1956.
- [18] G. Boato, G. Careri, A. Cimino, E. Molinari e G. G. Volpi, *Naturwiss.* 13, 388, 1955.

Capitolo 7

Giovanni Boato

Giovanni Boato è nato a Roma il 3 Settembre 1924. Si è laureato in Chimica all'Università di Genova nel 1947 e in Fisica all'Università di Roma nel 1950. È stato assistente all'Università di Roma dal 1949 al 1952 e *Research associate* all'Università di Chicago (*Institute for Nuclear Studies*) dal 1952 al 1953. Tra il 1954 e il 1964 è stato assistente e professore incaricato presso l'Università di Genova, dove ha svolto la sua attività come professore a partire dal 1964 fino al 1996. Negli anni 1965–1966 è stato *Visiting professor* presso la Rutgers University (N. J., USA). Oltre a svolgere le funzioni di presidente del Gruppo Nazionale di Struttura della Materia del CNR dal 1968 al 1972, è stato direttore della Scuola di Dottorato in Fisica a Genova) negli anni tra il 1987 e il 1990. Attualmente in pensione, è Professore emerito a Genova. Ha svolto attività di ricerca prima nell' Istituto di Fisica dell'Università di Roma “La Sapienza” e successivamente presso l'Istituto (poi Dipartimento) di Fisica dell'Università di Genova nei seguenti campi: Spettrometria di massa, abbondanze isotopiche in natura, separazione isotopica negli equilibri di fase; proprietà di trasporto nei solidi di gas inerti; superconduttività (effetto delle impurezze magnetiche; rivelazione dei quanti di flusso magnetico); fisica delle superfici e più specificamente: diffrazione di fasci atomici e molecolari da superfici ordinate; struttura delle superfici e determinazione del potenziale di interazione atomo–superficie; strati monomolecolari di adsorbati su superfici metalliche; trasformazioni di fase in superficie; storia della Fisica dell'Ottocento (con particolare riguardo a Faraday, Avogadro e Ampère) e del primo Novecento. Ha fondato e allestito il Museo di Fisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova, pubblicandone il relativo dettagliato catalogo. È stato membro

di varie Società scientifiche e componente del *Board* di Fisica degli Stati Condensati della Società Europea di Fisica e del *Board* della Divisione di Scienza delle Superfici della IUVESTA.

7.1 Premessa

Gianni Boato ebbe la fortuna, come altri giovani ventenni dopo la seconda guerra mondiale, di trascorrere alcuni periodi felici dal punto di vista dell'ambiente di lavoro e delle persone con cui fu a contatto nei primi decenni post-bellici. Tali periodi consistettero in: 1) Il ritorno a Roma dopo la guerra, nel 1947, e il bellissimo periodo trascorso negli anni della ricostruzione presso l'Istituto di Fisica di quella Università, sotto la direzione del professor Amaldi; 2) Il fantastico anno e mezzo trascorso nell'*Institute for Nuclear Studies* all'Università di Chicago nel 1952-'53, in quello che fu all'epoca uno dei migliori Istituti di ricerca del mondo; 3) Il ritorno a Genova nel 1954, dove, grazie all'opera e all'aiuto del professore Ettore Pancini, Gianni poté fondare nel 1954-'56 il suo primo laboratorio e costituire un gruppo di ricerca sotto la sua direzione. Tale gruppo ebbe poi, tra il 1957 e il 1980 (ed ha tuttora, con i successori di Gianni), un importante impatto nello sviluppo della fisica della materia in Italia.

7.2 Infanzia e prima giovinezza

Giovanni (Gianni) Boato nacque a Roma il 3 Settembre 1924 in Via Papareschi 18 nei pressi dello Stabilimento della Mira Lanza S.p.A., dove suo padre lavorava in qualità di direttore tecnico. Suo padre Alberto era veneto, nato a Dolo (Venezia), ed aveva cominciato la sua professione a Mira (Venezia) nello Stabilimento Mira Lanza, tuttora esistente. La madre Rita Candusso era triestina, di professione maestra elementare, ma in seguito donna di casa. A cinque anni Gianni sapeva già leggere e scrivere correntemente, con l'aiuto della mamma maestra. A sei anni fu ammesso alla seconda elementare, dove fu accettato sotto condizione perché nell'esame aveva commesso qualche errore di italiano. Gianni frequentò la Scuola Elementare "Giovanni Pascoli" in via Papareschi, e si iscrisse al ginnasio presso il Collegio Nazareno delle Scuole Pie. Frequentò le prime tre classi ginnasiali come allievo esterno. Ebbe successo a scuola, studiava volentieri il latino, andava bene in matematica, meno bene riusciva nei temi di italiano.

7. Giovanni Boato

Era il primo della classe, ma non si dava arie e i suoi compagni gli volevano bene. Negli anni 1937–1939, frequentò la quarta e quinta ginnasiale sempre al Collegio Nazareno; il professore di italiano lo ridimensionò un poco, ma ebbe sempre ottimo profitto e si distingueva in greco e latino. Non aveva alcuna difficoltà con la matematica, che non aveva bisogno di studiare. Come passatempi, collezionava insetti, iniziò la raccolta di francobolli (che proseguì poi per alcuni anni), andò più volte con il padre nel laboratorio chimico dello stabilimento, dove imparò a produrre precipitati e a far virare il colore delle soluzioni acquose; si divertì a riprodurre esperimenti di diverso tipo, facendo uso di quel meraviglioso libro di Ghersi e Valerio, “*1200 giochi ed esperienze dilettevoli e facili di fisica, chimica, botanica, matematica, fisiologia, psicologia, ecc.*”. I genitori di Gianni parlavano poco di politica, erano piuttosto favorevoli al fascismo, ma niente affatto entusiasti. La madre era ancora sotto l’influsso del nazionalismo triestino e il padre sotto quello delle tradizioni militari (aveva partecipato gloriosamente alla guerra del 1914–’18).

Il 9 Dicembre 1938 (Gianni aveva appena compiuto 14 anni), il padre Alberto venne licenziato dalla Mira Lanza. La decisione venne presa da Rocco Piaggio, presidente genovese della Società, in seguito principalmente al rifiuto di Alberto di licenziare alcuni operai anziani, ma ancora validi, che lo avevano aiutato a montare e a mantenere efficienti gli impianti dello Stabilimento. Il licenziamento arrivò senza preavviso e fu grande crisi in famiglia. Fu una bella difficoltà per Alberto mettersi a cercare un lavoro a 53 anni! Egli lo fece affannosamente per alcuni mesi, finché nella primavera del 1939 ebbe un colpo di fortuna. Gli venne offerto un posto di dirigente alla Saponeria Lo Faro di Genova, la principale concorrente della Mira Lanza. Alberto accettò e si trasferì subito a Genova, dove trovò un ambiente favorevole ed uno stabilimento efficiente.

Gianni completò il ginnasio al Nazareno, e nell’estate si trasferì con il resto della famiglia a Genova. L’abitazione a Genova era un appartamento di proprietà Lo Faro, in località Morigallo nella Valpolcevera, a notevole distanza dal centro di Genova. Gianni si iscrisse al più vicino Liceo Classico che si trovava a Sampierdarena, a mezz’ora di tram da casa. Fortunatamente il Liceo Mazzini era un buon liceo e Gianni fu molto fortunato con i professori. Ebbe come professoressa di chimica e di scienze naturali Giuseppina Zanoni, una grande scienziata, che in pochi anni diventò professoressa di botanica all’Università. Insignificante al confronto la professoressa di ma-

tematica. La professoressa Zanoni faceva lezioni veramente appassionanti. La botanica era insegnata dal vivo. Per illustrare la zoologia, la Zanoni si serviva di animali conservati in alcool nei magazzini del liceo. Essa seguiva lo schema evolutivo, anche se non si espresse mai esplicitamente a favore della teoria di Darwin e dell'evoluzione (era una cattolica osservante). L'insegnamento della chimica fu accompagnato da continui esperimenti. Ogni nuovo elemento chimico veniva preparato davanti alla classe e le reazioni chimiche erano svolte sotto gli occhi degli studenti. Gianni frequentò il Liceo Mazzini per due anni. Fu per lui un liceo molto formativo, che lo compensò dalla lontananza da Roma e dal centro di Genova. Nel profitto Gianni riusciva bene, tranne che per l'italiano e la storia. Era particolarmente bravo nelle traduzioni dall'italiano al latino e risultava imbattibile a chimica e scienze.

Il 10 giugno 1940 l'Italia di Mussolini dichiarò guerra alla Francia e all'Inghilterra. Cominciarono i primi bombardamenti aerei da parte francese, quasi innocui. Per precauzione, Gianni, sua madre e suo fratello abbandonarono per qualche tempo la casa di Morigallo, vicina agli stabilimenti industriali, che però non furono toccati dalle bombe.

Alla fine della seconda liceo (giugno 1941), Gianni decise, con il consenso dei genitori, di saltare la terza classe del liceo classico e di sostenere l'esame di maturità nella sessione autunnale. Aveva la media dell'otto e si sentiva abbastanza sicuro. Quasi tutti i professori lo sconsigliarono, tranne la professoressa Zanoni, che lo incoraggiò decisamente. Ma a Gianni interessavano le materie scientifiche, in particolare la chimica, e non aveva alcuna passione per le materie letterarie. Ad ottobre Gianni conseguì la maturità con la media del sette: 6 in italiano, 8 di scienze e 7 in tutte le altre materie. Era molto contento. Ormai poteva frequentare l'Università e dedicarsi agli studi che lo appassionavano.

7.3 La laurea in chimica a Genova

Nel novembre 1941 Gianni si iscrisse al primo anno del corso di laurea in Chimica pura. Esaminando il programma degli studi, egli scoprì che era possibile sostituire agli insegnamenti di matematica propri della Chimica (due corsi di teoria e due di esercitazioni) quelli di Analisi I, Analisi II, Geometria analitica e proiettiva e Meccanica razionale, propri dei corsi di laurea in Matematica e in Fisica e della laurea in Ingegneria. Gianni optò

7. *Giovanni Boato*

subito per questa soluzione, perché voleva formarsi delle solide basi in matematica. Egli ebbe l'ulteriore vantaggio di far conoscenza non solo con i compagni di chimica, ma anche con molti allievi di matematica, di fisica e di ingegneria. I corsi universitari destarono subito in lui un profondo interesse. Le lezioni di Fisica sperimentale erano svolte dal professor Augusto Occhialini, padre del più illustre Giuseppe (Beppo) che fu grande ricercatore in fisica nucleare ed esperto in raggi cosmici. Augusto Occhialini non coltivava la ricerca ma era un buon didatta ed eseguiva bellissimi esperimenti in aula, talvolta spettacolari. Il corso di Chimica era tenuto da Luigi Rolla, uno dei pochi chimici italiani che a quel tempo conoscessero la meccanica quantistica. Aveva creduto a Firenze di aver scoperto l'elemento 61, una terra rara cui aveva dato il nome di florenzio. Deluso della mancata scoperta, era ritornato nella sua città natale di Genova.

Gianni aveva molto da studiare e nei pomeriggi ritornava quasi sempre a casa in Val Polcevera, trascurando i corsi di esercitazioni di laboratorio. Era comunque molto soddisfatto. Alla fine delle lezioni (giugno 1942) si ammalò e non riuscì a sostenere gli esami. Li diede tutti ad ottobre con ottimi voti. Sostenne l'ultimo esame, Chimica organica, durante i primi veri bombardamenti.

A novembre del 1942 iniziò a frequentare le lezioni del secondo anno. Ebbe come professori Paolo Straneo di Analisi II, Aldo Iandelli di Chimica analitica e sempre Augusto Occhialini di Fisica (meravigliose lezioni di termodinamica!). Nel pomeriggio frequentava il laboratorio di Chimica analitica qualitativa, che portava via molto tempo, ma che gli fu maestro e guida per le operazioni manuali. Sostenne nel giugno 1943 quasi tutti gli esami, con ottimi voti. Nel corso dell'anno Gianni passò la visita di leva e fu dichiarato rivedibile, per forte miopia e carenza toracica. La rivedibilità fu confermata nell'anno successivo e così Gianni evitò di partire militare e di fare la guerra. Con l'avvento del 25 luglio, fu presa la decisione di trasferire la famiglia a Padova, considerata città più sicura, dove il padre di Gianni possedeva un appartamento libero.

L'8 settembre, mentre il padre di Gianni continuava ovviamente il lavoro nello stabilimento Lo Faro, Gianni decise di tornare a Genova per continuare lì i suoi studi. A novembre cominciò a frequentare i corsi del terzo anno. Aveva grosse difficoltà di trasporto tra Morigallo e l'Università (talvolta anche due ore di viaggio in tram sovraffollati). Seguiva i corsi standard di Chimica. Decise di iscriversi anche ad alcuni insegnamenti del corso di

laurea in Fisica, materia che gli stava piacendo sempre di più. Le lezioni di Fisica superiore erano tenute alle otto del mattino da Augusto Occhialini ed erano abbastanza interessanti. Gianni seguiva anche le belle lezioni di Analisi superiore di Francesco Sbrana. Gianni si recava all'Università la mattina presto e tornava a Morigallo la sera tardi, e così continuò a fare fino alla fine della guerra, evitando le "retate" che venivano compiute dai repubblicani di Salò e poi dai militari tedeschi. Se ti prendevano, potevi facilmente finire nei campi di lavoro in Germania e magari lasciarci le pene. Gianni mangiava alla mensa dell'Ospedale, nei pressi dell'Università. Cominciarono a quell'epoca i grandi bombardamenti anglo-americi, di giorno e di notte, che fecero gravi danni e molte vittime in città. Fortunatamente la zona della Val Polcevera, seppur fitta di stabilimenti industriali, non era compresa negli obiettivi militari anglo-americi. Tra giugno e ottobre del '44 Gianni sostenne gli esami del terzo anno senza alcuna difficoltà. Si iscrisse al quart'anno, frequentando diversi insegnamenti non molto interessanti, eccettuati quelli di Fisica Matematica a Scienze e di Elettrotecnica a Ingegneria, con un laboratorio molto istruttivo. L'insegnamento di Fisica Teorica, svolto dal professor Straneo, era scadente: si imparava poco o niente di meccanica quantistica. Gianni iniziò un buon rapporto con il professor Aldo Iandelli, frequentando il suo laboratorio di ricerca come allievo interno, in attesa di cominciare con lui la tesi di laurea.

Gianni conobbe bene a quel tempo Fausto Fumi, un brillante studente di chimica suo coetaneo, che aveva avuto vicissitudini simili alle sue, perché era anche lui interessato alla fisica. Studiava le stesse materie di fisica che aveva scelto Gianni per poter essere poi in grado di conseguire la laurea in fisica. Fausto era interessato alla parte teorica e disdegnava abbastanza il lavoro sperimentale. Fausto divenne in seguito professore di Fisica dello Stato Solido a Genova. L'amicizia tra Gianni e Fausto durò tutta la vita.

Nella primavera del 1944, la madre di Gianni, ancora a Padova, fu colpita da una grave epatite virale e poi, venuta a Genova, da cirrosi epatica, malattia inguaribile. Tra gravi sofferenze, Rita mancò il 4 Ottobre 1944. Perdere la madre è sempre un grave trauma; perderla a vent'anni, nel mezzo di una guerra terribile, fu per Gianni uno shock da cui si rimise molto lentamente.

Durante l'anno accademico 1944-'45 Gianni seguì gli ultimi corsi universitari, e cominciò ad occuparsi intensamente, sotto la guida di Aldo Iandelli, della tesi di laurea sui composti intermetallici delle terre rare, in particolare sulla lega indio-preseodimio. Il lavoro sperimentale era abbastanza noio-

so, ma si imparavano tecniche chimiche molto istruttive, che gli sarebbero servite in seguito; in ogni modo il problema della formazione e della struttura dei composti intermetallici era ricco di informazioni sulla struttura della materia e sarebbe diventato poco dopo di grande attualità anche per i fisici.

Nell'aprile 1945 ebbe termine la lunga e disastrosa guerra mondiale. Gianni riprese i suoi studi e si dedicò al completamento della tesi di laurea. Si laureò in Chimica pura nel luglio del 1946 con pieni voti, avendo in più sostenuto tutti gli esami del corso di laurea in fisica, eccettuato quello di Fisica teorica. Tuttavia studiò finalmente abbastanza bene la meccanica quantistica sul libro di Pauling e Wilson e in parte sul trattato del Persico, ma non la approfondì a sufficienza.

7.4 **Fisica nucleare a Roma**

Gianni passò l'autunno del 1946 a lavorare nell'Istituto di Chimica Generale, ma si rese conto che quello non era il posto adatto per continuare il lavoro di ricerca che gli interessava. La chimica non era più la materia che lo appassionava maggiormente, era invece sempre più attratto dalla fisica molecolare, ma che fare? Bisognava andar via da Genova e non pareva cosa facile. Fortunatamente si presentò un'occasione insperata, un vero colpo di fortuna. In dicembre Fausto Fumi si recò all'Istituto di Fisica di Roma, che conosceva un po' per avervi trascorso un anno come studente del primo biennio. Ritornò prima di Natale e riferì che aveva parlato con il professor Amaldi. Questi lo aveva informato che aveva a disposizione quattro borse di studio per studenti non romani che volevano conseguire la laurea in fisica a Roma nel campo della fisica nucleare e dei raggi cosmici. Una di queste borse l'avrebbe data volentieri ad un chimico sperimentale, perché c'era bisogno di un chimico competente nel suo laboratorio. Fausto aveva parlato ad Amaldi di Gianni come bravo ricercatore sperimentale e gli fu risposto che era disponibile ad arruolarlo al più presto. La decisione di Gianni fu immediata ed ai primi di gennaio partì per Roma.

La borsa di studio, offerta tramite Amaldi dalla Società Montecatini, era annuale, ma era retribuita per dieci mesi, a diecimila lire al mese. La somma era appena sufficiente per sopravvivere. Il padre di Gianni si offrì subito di aiutarlo finanziariamente, così Gianni decise di accettare la borsa e di iniziare subito il lavoro di tesi con Amaldi. Si trattava di una tesi di fisica

nucleare sui neutroni e il desiderio di Amaldi era di realizzare una camera a ionizzazione per la loro rivelazione, usando trifluoruro di boro come gas ionizzante. Il boro reagisce coi neutroni producendo particelle alfa e queste danno luogo al segnale. Ci voleva un chimico, che preparasse il trifluoruro di boro puro, partendo da alcuni composti complessi che lui aveva portato dall’America in un suo recente viaggio. Poi bisognava mettere in funzione la camera a ionizzazione e decidere che esperienza eseguire. C’era comunque un secondo scopo nella mia presa di servizio a Roma: il laboratorio, predisposto alla produzione di sostanze radioattive da parte di Franco Rasetti, era rimasto senza responsabile dopo la sua partenza per il Canada nell’estate del 1939, ma doveva restare in funzione ed essere controllato. Infatti c’era bisogno di preparare periodicamente alcuni prodotti radioattivi, tra cui il polonio usato dai geofisici per le loro esperienze nell’alta atmosfera. Gianni accettò il lavoro di tesi ed insieme la responsabilità del laboratorio di radioattività e si mise all’opera. Iniziò così uno dei più bei periodi del suo lavoro di ricercatore.

C’è da ricordare che gli anni dell’immediato dopoguerra furono anni straordinari per quei giovani fisici che ebbero la fortuna di far ricerca a Roma presso l’Istituto di Fisica “Guglielmo Marconi”, diretto dal Professor Edoardo Amaldi. Il prestigio e il carisma di Amaldi, l’ancora vivissimo influsso del lavoro eseguito da Enrico Fermi (partito per gli Stati Uniti nel dicembre 1938 a seguito delle leggi razziali) insieme alla sua scuola in Via Panisperna e la presenza di tanti entusiasti proseliti, sia romani sia provenienti, subito dopo la guerra, da ogni parte d’Italia, rendevano l’Istituto (nella sua nuova sede della Città Universitaria) un luogo ideale non solo per lo svolgimento della ricerca, ma anche per la circolazione delle idee, favorita dal forte spirito di gruppo e dal quasi completo disinteresse, almeno nei primi tempi, di svolgere una rapida carriera.

Fu in questo clima di entusiasmo ed insieme di grande professionalità che nel gennaio del 1947 Gianni si ritrovò a Roma in qualità di neo-laureato in chimica, ma desideroso di perfezionarsi in fisica, svolgendo ricerche di tipo sperimentale. Iniziò il suo lavoro sulla rivelazione di neutroni mediante la camera a ionizzazione a trifluoruro di boro, preparando il gas e costruendo tutta l’apparecchiatura elettronica occorrente per la rivelazione degli eventi ionizzanti neutrone-particella alfa. Di elettronica pratica Gianni aveva scarsa conoscenza, ma disponeva dell’aiuto di colleghi e di tecnici competenti. Gianni progettò e costruì amplificatori e scale di conteggio, mise a

7. Giovanni Boato

punto una vecchia camera fornitagli da Amaldi, rendendola inattaccabile dagli effetti corrosivi del trifluoruro mediante una doratura, e cominciò a fare misure, tentando e ritentando di rivelare i segnali provenienti dagli eventi ionizzanti causati dalle particelle alfa. Ma i segnali non comparivano e Gianni si recò disperato da Amaldi, nella convinzione di non possedere la professionalità tecnica necessaria. Amaldi non si scompose, ripeté che Gianni era un tipico mugugno genovese, ma gli diede una notizia confortante: entro qualche giorno sarebbe venuto da Milano a Roma Giorgio Salvini, esperto in camere a ionizzazione, e lui avrebbe dato un valido aiuto. Così accadde, e Salvini dedicò a Gianni un giorno intero per individuare i difetti della camera e dell'elettronica. Di fatto, questi difetti si dimostrarono di minore entità e così prima di sera si videro i segnali, che erano piuttosto deboli. Gianni e Giorgio si recarono da Amaldi e lui fu tutto contento dei risultati ottenuti. Gianni lo era ancora di più, ma quando si entrò nel merito delle esperienze che si potevano effettuare con la camera ormai operante, Salvini guardò entrambi e rivolgendosi ad Amaldi gli disse: "Ma tu vorresti far lavorare Boato con questa camera antiquata? Avrò solo grane!". Poiché non sembrava opportuno mettersi a costruire una camera nuova, usando anche gas più puro e difficile da reperire, il progetto di ricerca fu abbandonato.

Così Gianni dovette cercarsi un altro lavoro e, su consiglio di Amaldi, accettò la proposta di Mario Ageno, assistente e professore incaricato presso l'Istituto, di studiare la possibilità che l'elemento rubidio, più precisamente il suo isotopo 87, radioattivo a vita media molto lunga, potesse presentare il fenomeno del doppio decadimento beta, con emissione di raggi gamma.

Ageno era una persona molto seria e dedicata, molto coinvolto nell'aggiornamento dei laureandi e degli studenti più giovani, cui assegnava assiduamente nuovi problemi di fisica (anche perché stava scrivendo un libro di esercizi, che restò poi famoso per la sua qualità e difficoltà). Era noto come "sergente di ferro" per la sua severità. Gianni ne era diventato amico, anche perché era genovese di origine e fu molto contento di lavorare con lui. Ageno gli insegnò come diventare un buon fisico sperimentale e come redigere un quaderno di laboratorio.

Ageno aveva sviluppato un nuovo e sensibile rivelatore per raggi gamma, piccolo e compatto, ideale per fare misure su un preparato di rubidio, elemento molto costoso. L'apparecchiatura di misura era pronta, bisognava solo procurarsi un recipiente che contenesse il rubidio e fosse foggiato in mo-

do da circondare completamente il piccolo rivelatore. Il recipiente fu trovato presso il professor Giulio Cesare Trabacchi, direttore del reparto di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità, dove Ageno conduceva altri esperimenti.

Con tutto pronto Gianni si mise al lavoro, e dopo alcune settimane fu in grado di affermare che l'emissione gamma esisteva. Contentissimi, Ageno e Gianni si misero a studiare meglio il fenomeno e cominciarono a scrivere una nota sulla scoperta. Ma non era stata eseguita alcuna prova in bianco, cioè un esperimento di conteggio in assenza del rubidio, visto che Trabacchi aveva assicurato Ageno che il contenitore di vetro era nuovo e assolutamente privo di radioattività. Gianni decise che la prova in bianco andava comunque condotta e la eseguì sollecitamente. Sorpresa! Il segnale era esattamente lo stesso sia se il recipiente contenesse il rubidio oppure no e perciò la radioattività proveniva tutta e solo dal contenitore, che evidentemente era stato adoperato. Delusione generale: anche Trabacchi era capace di turlupinare!

A questo punto Gianni venne preso da una crisi esistenziale. La fisica nucleare gli piaceva, ma non immensamente, tanto più che gli aveva dato due grosse delusioni; inoltre tutto il gruppo dei fisici nucleari era sempre più coinvolto, e quasi esclusivamente, in esperimenti sui raggi cosmici, che erano una sorgente naturale di nuove particelle elementari. La fisica ad essi relativa non piaceva a Gianni. La sua anima di chimico riprese il sopravvento.

Ma quale ricerca poteva essergli congeniale nell'Istituto di Fisica che Gianni non voleva abbandonare? Le scelte erano poche, o meglio ve ne era una sola, che avrebbe potuto condurre a risultati immediati. Infatti aveva cominciato a fare ricerca un brillante ingegnere chimico che si era laureato anche in fisica e aveva interessi simili a quelli di Gianni, Giorgio Careri. Questi si era accordato con Amaldi per procedere alla costruzione di uno spettrometro di massa del tipo progettato ed usato dall'americano Alfred Nier per la misura delle abbondanze isotopiche. Il programma di Careri rientrava nominalmente nelle finalità della fisica nucleare, ma l'interesse era diretto a svolgere ricerche di fisica molecolare e statistica con l'ausilio degli isotopi stabili.

7.5 Lo spettrometro di massa

Così, dopo quasi due anni di ricerca deludente nel campo della fisica nucleare (ma per niente inutile, dato il grande bagaglio di conoscenze sperimentali che Gianni poté accumulare), Gianni si mise a lavorare con Giorgio Careri, che stava completando la messa a punto dello spettrometro di massa insieme ad un laureando, poi divenuto giovane collaboratore, Giuliano Nencini. Gianni si accorse subito che la scelta era stata felice. Non solo fiorì amicizia e simpatia, ma Gianni si rese subito conto che Giorgio aveva programmi più ambiziosi di quanto egli avesse immaginato. Tra questi prevalevano lo studio sperimentale delle forze intermolecolari e la risoluzione di problemi di termodinamica statistica. La parte teorica non gli era congeniale, ma interessava molto Giorgio, che, dopo alcuni tentativi ben riusciti, scelse però anche lui di rimanere comunque un fisico sperimentale.

Mille ostacoli si sovrapponevano alla realizzazione di esperimenti di punta sulle forze intermolecolari: immaginare per esempio di svolgere esperimenti di collisione tra molecole singole era improponibile, anche se era il sogno di Giorgio e di Gianni. A quel tempo non esistevano ancora né i fasci supersonici, né i rivelatori bolometrici, che avrebbero costituito alcuni degli ingredienti del futuro lavoro di Gianni a Genova. Si decise dunque di procedere a misure un po' diverse, quali la diffusione nello stato gassoso, o la cinetica delle reazioni di scambio isotopico, che potevano dare informazioni indirette sulle forze intermolecolari e sulle interazioni tra molecole. Fu alla luce di obiettivi di tal sorta che cominciò il lavoro sperimentale di Gianni in collaborazione con Giorgio.

Ma intanto bisognava far funzionare lo spettrometro di massa, e i problemi che si ponevano erano di tutt'altra natura, erano cioè questioni molto ma molto pratiche. “Clebbà, ha clebbato!” Gianni sentì esclamare Giorgio e Giuliano, entrando un mattino nella stanza dello spettrometro. ‘Clebbare’ è un’italianizzazione del verbo tedesco ‘kleben’, che vuol dire appiccicare. Il fatto era che il vuoto nello strumento aveva raggiunto un milionesimo di atmosfera nella qual condizione il mercurio del manometro di McLeod era arrivato in cima al capillare di vetro sulla sommità dell’ampolla, riempiendolo completamente e quindi restando appiccicato al vetro. Era una buona notizia, ma quanta fatica per arrivarci! Si era finalmente raggiunto il presupposto per poter rivelare un fascio di atomi e poi misurarne il rapporto isotopico. “C’è il fascio, c’è il fascio!” esclamarono tutti alcune settimane più tardi, osservando che l’indice del galvanometro rivelatore si era mosso

impercettibilmente sulla scala di lettura. E così alla fine si videro i segnali dei picchi isotopici emergere dal fondo e si poterono cominciare le prime grossolane misure. Alle volte, entrando in laboratorio, si sentiva un picchietto intermittente, seguito da pesanti commenti e da moccoli da parte di Giorgio e Giuliano. Era l'alimentatore di tensione continua per accelerare gli ioni del fascio che faceva i capricci. Occorre rendersi conto che la tensione elettrica estremamente stabile necessaria per vedere i segnali veniva prodotta da una serie di batterie al piombo, e non con un alimentatore elettronico stabilizzato, che non era disponibile per il suo costo. Erano 250 piccole batterie da 6 volt in plastica e collegate in serie, che Careri si era procurato come materiale dei campi ARAR (Azienda Rilievo e Alienazione Residuati), magazzini di residuati bellici americani messi a disposizione dell'Italia dopo la guerra. L'uso delle batterie era un'ottima scelta, perché la forza elettromotrice di ciascuna era rigorosamente costante, ma succedeva che i contatti e i collegamenti tra di esse, investiti dai fumi acidi che si sviluppavano, si rifiutavano di funzionare a dovere ed allora bisognava colpirli uno ad uno con un martelletto per riuscire ad individuare in qual punto stava il difetto di collegamento.

Ogni tanto veniva a visitare il laboratorio il professor Amaldi che era molto interessato alla ricerca e voleva bene a Giorgio ed a Gianni. “Tutto bene? Tutto bene? E il deuterio, l'avete visto?” Ma, subito dopo, mettendo la mano su uno strumento abbandonato su un tavolo: “Ma è coperto di polvere! Maggior cura nella pulizia! Dovete provvedere!” Come non si poteva essere combattuti tra il compiacimento per la visita – Amaldi ci fu sempre di grande stimolo, pur non essendo il lavoro con lo spettrometro di suo diretto interesse – e la seccatura per il non meritato rimprovero?

Così andò avanti il lavoro in laboratorio per un paio d'anni, finché lo spettrometro funzionò perfettamente e iniziarono le misure significative; ma di queste si tratterà un po' più avanti.

7.6 La vita dell'Istituto di Fisica a Roma

Intanto Gianni aveva frequentato il corso di Fisica Teorica, di cui era titolare Bruno Ferretti, temporaneamente assente. Le lezioni vennero svolte quasi interamente da Corinaldesi. Gianni sostenne l'esame a luglio, l'unico che gli mancava per laurearsi in Fisica, avendo come esaminatore Bruno Zumino, giovane e bravo teorico, che poi divenne suo caro amico. La vita nell'Istituto

di Fisica era piacevolissima. Era una grande famiglia, unita e ben ordinata, dove prevaleva la collaborazione e non era consentito il minimo litigio. C'erano condizioni di ristrettezza economica, ma questo favoriva l'aiuto scientifico e pratico nel lavoro quotidiano. Si conoscevano continuamente interessanti personaggi, fisici e scienziati illustri, che venivano a visitare l'Istituto per amicizia diretta con Amaldi e/o perché vi aleggiava ancora lo spirito di Fermi. Si potevano sentire conferenze e seminari di grande interesse, e fare discussioni, scientifiche e non, sui più svariati argomenti. Di tutto ciò il maggior merito doveva essere attribuito ad Amaldi, ma il clima era certamente favorito dall'atmosfera di ricostruzione post-bellica, poco inquinata dalle ambizioni personali, e dove era completamente assente ogni tipo di favoritismo. Lo stipendio mensile che veniva elargito, mi sembra circa ventimila lire ad ogni giovane ricercatore, era appena sufficiente per sopravvivere; esso era a carico delle spese di ricerca, cioè del 'Centro di studio per la fisica nucleare' del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), e il suo ammontare era deciso da Amaldi e dai membri più anziani. In breve esso divenne insufficiente e coloro che ne godevano, la grande maggioranza dei ricercatori, ancora senza titolo di assistente universitario, cominciarono a lamentarsi. Ma niente succedeva, e così i giovani ricercatori cominciarono a riunirsi in assemblea e formarono un piccolo sindacato locale, chiamato il gruppo delle p.d.p. (pezze da piedi). Un giorno venne sollevata una formale protesta e venne richiesto l'aumento dello stipendio. Quando lo seppe, Amaldi ci restò male e ci rimproverò; ma un mese dopo lo stipendio fu aumentato e ritornò la calma. Si viveva comunque in ristrettezze economiche, specie coloro, ed erano parecchi, che venivano da altre città d'Italia, come Gianni. Dopo alcuni anni come pezze da piedi, i giovani riuscirono a conquistare un posto di assistente straordinario, con uno stipendio ancora magro ma decente, a carico dell'Università.

Gianni divenne grande amico di parecchi colleghi, poco più anziani di lui. Tra essi vi erano Sebastiano Sciuti – di origine napoletana, assistente e collaboratore diretto di Amaldi, rimasto sempre un gran signore –, Carlo Ballario, impegnato con le camere di Wilson, Lucio Mezzetti, solerte fisico e bravo risolutore di problemi, Giulio Cortini, capo del gruppo 'lastre' e fanatico comunista, tutti assistenti. Gianni era anche legato da grande amicizia al gruppo dei più giovani tra cui Ruggero Querzoli, bolognese, e il gruppo dei romani Gherardo Stoppini, Bruno Zumino, bravissimo teorico di cui ho già parlato, e Giuseppe Fidecaro, tutti romani; per non dimenti-

care né Maria Ferretti (moglie del bravissimo teorico Bruno), responsabile dell'Amministrazione, né Ludovico Zanchi, il *factotum* dell'Istituto, né il capo officina Renato Berardo, con cui Gianni collaborò attivamente per ripristinare il liquefattore d'aria dell'Istituto, andato in disuso.

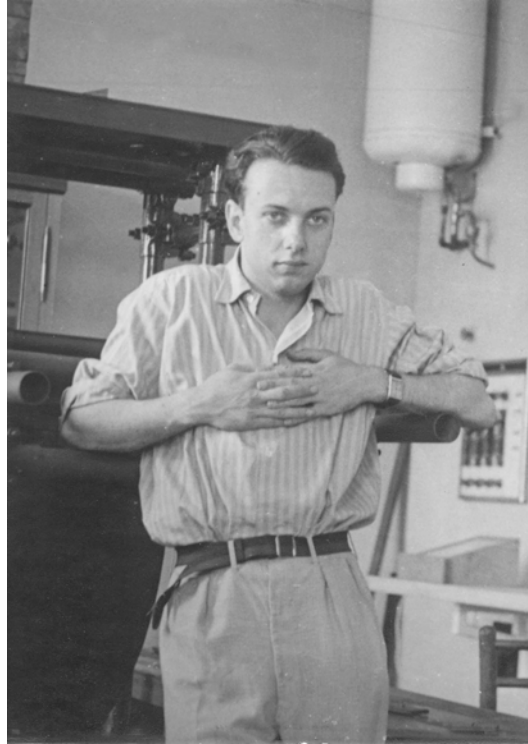


Figura 7.1: Giuseppe Fidecaro nel 1948. La foto è stata scattata nella stanza 123, a quell'epoca laboratorio di Edoardo Amaldi e probabilmente, prima ancora, di Enrico Fermi. È visibile parte dell'impalcatura metallica destinata a sostenere i contatori, l'elettronica e il piombo dell'esperimento sullo scattering dei mesoni μ dei raggi cosmici all'epoca portato avanti da Amaldi e Fidecaro e i cui risultati conclusivi furono da loro discussi in lavori pubblicati tra il 1950 e il 1951 (E. Amaldi e G. Fidecaro, *Helvetica Physica Acta* 23, 1950, 93; *Nuovo Cimento* 7, 1950, 535; *Physical Review* 81, 1951, 339).

Celebri furono le spedizioni di Sciuti, Lepri, Pancini, Quercia, Conversi ed altri colleghi anziani in vari campi ARAR, dove erano stati raccolti i residui di guerra americani, per procurare all'Istituto materiale scientifico di

7. Giovanni Boato

grande utilità per il lavoro sperimentale (valvole termoioniche, oscillografi a raggi catodici, alimentatori stabilizzati, macchine da ripresa, strumenti ottici ed altra strumentazione pregiata, nonché i più banali ‘tester’ e saldatori). Fu recuperata in tal modo una diecina di camion di materiale di grande utilità nel lavoro quotidiano di ricerca, ad un costo praticamente zero. È interessante descrivere alcuni di questi colleghi. Ettore Pancini, accigliato fisico veneto, era uno dei factotum dell’Istituto e occupava lo storico posto di ‘assistente al corista uniforme’, addetto cioè alla custodia del campione di frequenza sonora, sotto forma di un ben protetto diapason con il suono “la”, e se ne vantava.



Figura 7.2: Ettore Pancini nel 1940.

Pur essendo buono nel profondo dell’animo, era terribile agli esami, e costituiva il terrore delle studentesse, che prendeva in giro e poi irrimediabilmente bocciava alla prima esitazione. Venne chiamato a Genova come professore nel 1952 e Gianni ne divenne collaboratore e grande amico nel 1954, al suo ritorno dall’America. Franco Lepri era il mago dell’elettronica, quando c’era un problema di circuiti o di valvole, Amaldi diceva inevitabilmente: “Andate da Lepri”.



Figura 7.3: Franco Lepri e Marcello Conversi (a sinistra) nel 1943.

Lepri era molto impegnato ma sempre disponibile; ci pensava un po', rifaceva il circuito sostituendolo con un groviglio di fili inizialmente incomprensibile e le cose andavano a posto: era un problema capire che cosa aveva fatto, non solo perché era incredibilmente disordinato, ma anche perché si esprimeva con difficoltà. Italo Federico Quercia lavorava nel campo dei raggi cosmici ed era un infaticabile sperimentatore; fu per alcuni anni consulente dell'AGIP per il carotaggio radioattivo. Marcello Conversi era uno dei più quotati assistenti anziani, aveva realizzato durante la guerra, con Pancini e Oreste Piccioni, l'esperimento sulla cattura e sul decadimento dei mesoni "mu" ed era un gran gentiluomo. Naturalmente, molti di coloro che ho ricordato, svolgevano ricerche nel campo dei raggi cosmici, all'epoca una fetta importante della ricerca svolta a Roma.

Rinomate furono le grandi baldorie organizzate in Istituto per festeggiare il ritorno in Italia, anche se temporaneo, di alcuni fisici italiani emigrati in America prima della guerra. È restata famosa quella in onore di Emilio Segrè, con balli e grandi bevute. Servivano a rinsaldare lo spirito di corpo, se ce n'era ancora bisogno. Si lavorava molto, ma si prendevano anche i dovuti svaghi. Si andavano a sentire i concerti nell'Aula Magna dell'Ateneo, ben attrezzata all'uopo, a prezzi moderati per gli universitari, e si facevano gite in compagnia. Giorgio Careri era un organizzatore particolarmente efficace per le attività fuori Istituto. Era un grande animatore, aveva le idee

7. *Giovanni Boato*

giuste e la battuta pronta, sicché intorno a lui c'era sempre un'atmosfera di grande allegria. In particolare aveva formato una bella compagnia, con cui si andava a sentir musica, si visitavano mostre e si facevano scampagnate e pranzi all'aperto. Questo gruppo era formato da fisici e chimici, ma anche da persone di estrazione diversa, tra cui diverse ragazze. I fisici erano, oltre a Gianni e Giorgio, Bruno Zumino, Giacomo Morpurgo e Giuliano Nencini, i chimici erano Alessandro Cimino ed Ettore Molinari

Nell'estate del 1948, Gianni andò in vacanza nelle Dolomiti, con un grande gruppo di giovani romani simpatici e piacevoli, tra cui Ettore Molinari, Alessandro Cimino e Bruno Zumino, di cui ho già accennato, ed altri universitari e molte piacevoli ragazze. Tutto era organizzato, guarda caso, da Giorgio Careri. Avevamo quasi completamente occupato un albergo ad Alba di Canazei, in Val di Fassa. Furono giorni incantevoli. Non solo ritrovai, ma veramente scoprii, le montagne dolomitiche, facendovi ogni giorno bellissime gite.

A Roma Gianni consumava il pranzo o in qualche trattoria o, per alcuni mesi, presso il portiere dell'Istituto, la cui moglie si era organizzata per far da mangiare ad un gruppetto di persone, tra cui, oltre a lui, vi erano Amaldi, Ageno, e qualche ospite occasionale. Fu in quella sede che Gianni apprese da Amaldi tutta una serie di episodi sulla precedente vita in Istituto ed in particolare molti aneddoti riguardanti Enrico Fermi ed il suo gruppo di ricerca in Via Panisperna. I racconti, che purtroppo in gran parte si sono persi nella memoria, facevano a Gianni l'effetto di una cura ricostituente e lo resero sempre più convinto di aver fatto un'ottima scelta quando aveva accettato il lavoro a Roma.

7.7 **La laurea in Fisica**

Mentre stava terminando con Giorgio la costruzione dello spettrometro di massa Gianni si accinse a progettare un esperimento per la misura accurata del coefficiente di autodiffusione nei gas inerti (tesi del laureando Teofilato), ma per far questo occorrevano isotopi stabili arricchiti. Gianni decise dunque con Giorgio di costruire un impianto per la separazione degli isotopi dell'argon e del neon mediante i cosiddetti "tubi di Clusius–Dickel" basati sul differente coefficiente di diffusione termica dei diversi isotopi di quegli elementi. I tubi di Clusius erano lunghi tubi di vetro ben calibrati, lungo il cui asse centrale veniva teso un filo metallico sottile che veniva portato

al calor rosso con una opportuna corrente elettrica. Per effetto della diffusione termica e delle correnti convettive, tra le estremità del tubo si veniva a creare una differenza di composizione isotopica, arricchendo per esempio l'argon atmosferico nell'isotopo raro di massa 36. Il calcolo delle dimensioni dei tubi non era banale e la loro costruzione incontrava diverse difficoltà tecniche.

Si presentò in quel momento un'opportunità unica: esisteva in Svizzera un fondo in valuta a completa disponibilità di Amaldi e che già altri ricercatori di Roma avevano utilizzato. L'esistenza di questo fondo consentì a Gianni di trascorrere un periodo di circa sei mesi presso l'Istituto di Chimica Fisica dell'Università di Zurigo, dove era professore Klaus Clusius, inventore con Dickel degli omonimi tubi.

Gianni si recò a Zurigo nel febbraio 1949, dove ebbe la fortuna di incontrare e fare stretta amicizia con Mario Verde, teorico di Torino, Valentino Telegdi, fisico sperimentale ungherese e Corrado Boehm, fisico matematico, ambedue in attesa di collocazione accademica. Gianni si trovò subito in difficoltà per la poca familiarità con la lingua tedesca e per l'impatto con il terribile dialetto svizzero tedesco, che tutti usavano in città e anche in laboratorio. In aggiunta Gianni trovò Clusius formalmente cordiale, ma concretamente poco amichevole, per cui gli occorsero alcuni mesi per ambientarsi. Non riuscendo ad esprimersi in tedesco, iniziò ad usare la lingua francese, che tutti gli svizzeri colti conoscevano, ma trovò in Clusius un ostacolo insormontabile, perché lui si ostinava a parlare solo in tedesco.

Per farla breve, Gianni riuscì con grande fatica a convincere Clusius di far costruire un grosso tubo di Clusius per concentrare il deuterio, o meglio la molecola isotopica HD contenuta in minima parte nell'ordinario idrogeno gassoso. Nel frattempo Gianni costruì con le sue mani un apparecchio per misurare la concentrazione di HD basato sulla differenza in conducibilità termica tra H_2 e HD. L'apparecchio era in vetro, ed era costume del laboratorio essere capaci di lavorare il vetro da soli, così che Gianni imparò a soffiare il vetro. Quest'apparecchio fu completato, ma non il tubo, e Gianni dovette ritornare a Roma (dopo sei mesi di duro lavoro e molte sofferenze) poiché erano terminati i soldi a disposizione. Il lavoro fu portato a termine felicemente dal suo amico svizzero Braendli, anche se il separatore si dimostrò poco efficiente. Ma il colmo della sfortuna volle che proprio in quell'anno apparisse un lavoro fatto negli Stati Uniti in cui si dimostrava che si poteva ottenere HD puro facendo reagire idruro di alluminio con ac-

7. *Giovanni Boato*

qua pesante, ossia D_2O . Ancora un'altra ricerca "buca" per Gianni! Ma almeno aveva imparato a soffiare il vetro, cosa che gli fu di enorme utilità nel futuro lavoro sperimentale.

Tornato a Roma, Gianni continuò a lavorare nella costruzione dei tubi di Clusius per la separazione degli isotopi dell'argon e del neon, che erano così lunghi da trapassare due piani dell'Istituto. Sfortunatamente il lavoro non fu portato a compimento perché Giorgio Careri partì per l'America per imparare la teoria dei liquidi con Joseph Mayer a Chicago e Gianni era sovraccarico di lavoro. Tra l'altro si cominciò a discutere di una ricerca sulla reazione di scambio tra idrogeno e deuterio in fase gassosa, che divenne poi il primo serio e approfondito lavoro scientifico del gruppo. Si unirono nel lavoro a Giorgio e a Gianni i chimici Alessandro Cimino ed Ettore Molinari, amici di vecchia data, con il benplacito non solo di Amaldi, ma anche di Vincenzo Caglioti, direttore dell'Istituto di Chimica Generale e futuro presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Questo argomento verrà trattato diffusamente più avanti.

Nel frattempo, accaddero alcuni fatti nuovi importanti. Poiché ormai lo spettrometro di massa funzionava a meraviglia, occorreva metterlo in uso al più presto, e con qualcosa di scientificamente significativo. L'occasione si presentò all'inizio del 1951 tramite l'intervento di Mariano Santangelo, che lavorava presso l'Istituto Nazionale di Geofisica, e per l'interessamento del dottor Lenzi, capo del laboratorio chimico della Società 'Larderello', che da anni stava producendo energia elettrica di origine geologica, sfruttando l'energia del vapore che si sprigionava dai ben noti soffioni boraciferi di Larderello in Toscana. Il dottor Lenzi e la sua Società erano interessati ad incrementare la produzione del vapore, ma per questo occorreva una approfondita conoscenza dell'origine e della provenienza dei soffioni, dunque ogni tipo di nuova analisi poteva concorrere a migliorarne la conoscenza, con lo scopo pratico di eseguire le nuove trivellazioni nei posti più adeguati. Santangelo aveva capito che analisi di tipo nucleare potevano essere di grande interesse.

Dopo alcune discussioni sembrò evidente che poteva essere interessante eseguire misure della composizione isotopica dell'argon contenuto nei soffioni, dato che l'abbondanza relativa dell'argon 40 rispetto al 36 prometteva di essere un indizio sulla profondità da cui i soffioni provenivano. Infatti si sapeva che la stragrande maggioranza dell'argon contenuto nell'atmosfera (costituita prevalentemente da argon 40, con una piccola percentuale di

argon 36 e 38) era generata per il decadimento del potassio 40, un isotopo radioattivo del potassio contenuto nelle rocce della crosta terrestre. Da queste rocce l'argon gassoso veniva liberato durante le ere geologiche.

I risultati dell'analisi isotopica dell'argon contenuto nei soffioni boraciferi risultarono decisamente interessanti, perché il rapporto isotopico A_{40}/A_{36} risultò essere superiore del 25% rispetto a quello dell'aria atmosferica, mostrando un'abbondante produzione di argon 40 da parte delle rocce sottostanti. Questo risultato aprì subito un nuovo campo di ricerca, cui Gianni si dedicò particolarmente con Mariano Santangelo. Evidentemente contribuì anche Giorgio Careri. Gianni e Mariano decisero subito di partire per un lungo viaggio di studio alla ricerca di gas ed emanazioni vulcaniche, muniti della necessaria attrezzatura.

Essi si recarono in Sicilia nella primavera del 1951 sotto la guida di Mariano, che oltre ad essere un geofisico era un siciliano doc. Scalarono l'Etna ancora pieno di neve e cercarono di catturare i gas che emanavano dalle fenditure sulla vetta. Fu un compito sgradevole e pericoloso, anche se l'Etna non era in fase eruttiva, ma esso risultò pienamente soddisfacente. Purtroppo i gas, all'analisi spettrometrica, si rivelarono essere solamente aria atmosferica riciclata.

Successivamente Gianni e Mariano partirono dalla Sicilia per le isole Eolie, tutte di natura vulcanica. Iniziarono il viaggio da Milazzo con il vaporetto in una bella mattina di maggio; il primo approdo fu Lipari, dove presero alloggio. Si mangiava ottimo pesce, squisite erano le trance di pesce spada appena pescato, accompagnate dalla splendida malvasia locale; fantastico era il panorama, con l'isola di Vulcano di fronte. Su quest'isola vulcanica Gianni e Mariano si recarono a prelevare i gas di diverse fumarole molto attive; Vulcano era a quei tempi un'isola completamente deserta, con una sola costruzione precaria del Club Méditerranée. Si recarono poi a Stromboli ed anche quella fu una visita indimenticabile. Nella piccola cittadina vivevano pochi abitanti, che quasi mai si vedevano. La sera Gianni e Mariano mangiarono all'aperto: non c'era la luce elettrica e la loro lampada a petrolio era l'unica accesa in tutto il paese, in una quiete sovranaturale. La mattina seguente andarono a far visita al parroco, che si sapeva essere una persona di vedute moderne, per ricevere consigli sulla scelta di una guida per la scalata del vulcano e per l'aiuto nel prelievo dei campioni. Trovata la guida, la scalata del vulcano, attivo anche se non in condizioni parossistiche, fu una gita entusiasmante, ma senza risultati pratici perché

7. *Giovanni Boato*

risultò impossibile avvicinarsi alle sorgenti di fumo e vapore. Insomma i veri gas vulcanici risultarono essere ancora una volta estremamente difficili da catturare.

L'escursione in Sicilia diede pochi risultati concreti, ma Gianni, Giorgio e Mariano furono ricompensati dai campioni di gas di origine vulcanica prelevati dalle fumarole di Ischia, di Agnano e di Pozzuoli e dal ben noto 'bullicame' di Viterbo. Si riuscì così a mettere insieme un bel lavoro sull'abbondanza isotopica dell'argon 40 nei gas naturali, che risultò essere anomala in parecchi casi e diede luogo ad una prima comunicazione. Questa ricerca fu presto seguita da una seconda ricerca, svolta insieme al giovane chimico Gian Gualberto Volpi, sul contenuto in deuterio del vapore emesso dai soffioni di Larderello, fornendo informazioni sulla temperatura del sottosuolo con cui il vapore veniva a contatto. Le due pubblicazioni sulle abbondanze isotopiche in natura furono invidiate da Harold Urey, professore di chimica a Chicago, che era coinvolto in simili ricerche.

All'inizio del 1950, Giorgio Careri partì per gli Stati Uniti per lavorare, appunto a Chicago, con Joseph Meyer su questioni di meccanica statistica e teoria dei liquidi, in un ultimo tentativo di diventare un fisico teorico. Gianni, abbandonati i tubi di Clusius (ormai gli isotopi puri od arricchiti si potevano trovare sul mercato), si mise al lavoro sulla reazione di scambio idrogeno-deuterio (anche Sandro ed Ettore erano in partenza per gli Stati Uniti, per andare a Princeton ad imparare la cinetica chimica nelle reazioni di catalisi), ma si cimentò anche in un altro campo di ricerca: quello dell'uso degli isotopi radioattivi come traccianti nei processi biologici. Lo sollecitò a far questo Ferdinando Passalacqua, uno studente superattivo di medicina che frequentava l'Istituto di Fisica. Insieme a lui e al professor Ascenzi di Anatomia patologica eseguiamo una ricerca sulla distribuzione dello iodio nella tiroide e nell'ipofisi delle cavie, che fu per me un'interessante esperienza nel campo delle applicazioni pratiche della radioattività. Ma anche questa ricerca non andò a buon fine, per il difficile rapporto con i medici, che non capivano cosa volesse dire preparare un campione adatto per le misure di autoradiografia.

Terminate le misure di abbondanza isotopica dell'argon nei gas di origine vulcanica, Gianni decise di avere materiale sufficiente per preparare la tesi di laurea in Fisica. Scelse il titolo "Aspetti geofisici della radioattività del potassio" e chiese al professor Enrico Persico, che era da poco ritornato a Roma in qualità di professore di Fisica Superiore, di fargli da relatore.



Figura 7.4: Chicago, giugno 1950. Da destra: G. Careri, J. E. Mayer, W. F. Libby (Cortesia G. Careri).

Persico fu d'accordo e Gianni iniziò uno studio sulla radioattività del potassio 40, sulla produzione di argon 40 nelle rocce terrestri e nel mantello e principalmente sul bilancio termico della terra. Ne venne fuori un buon lavoro di carattere geofisico, che Gianni presentò come tesi nel luglio del 1951. Conseguì così, con lode, il titolo di dottore in Fisica. Il lavoro non venne mai pubblicato.

7.8 Il laboratorio di Harold Urey a Chicago

Nell'autunno del 1951, venne a far visita a Roma, e personalmente al professor Amaldi, il premio Nobel americano Harold C. Urey, un chimico di grande valore e forte carisma, scopritore del deuterio. Egli rimase molto impressionato dell'attività nel campo della distribuzione degli isotopi stabili in natura, campo in cui lui era stato un pioniere. A Chicago aveva infatti costituito un laboratorio di spettrometria di massa, dove le abbondanze isotopiche relative venivano determinate con elevata precisione, un fattore dieci meglio di quelle svolte a Roma. Con il suo nuovo strumento aveva misurato le abbondanze isotopiche dell'ossigeno nelle conchiglie fossili ed aveva scoperto il metodo di misura delle paleotemperature per la determinazione della temperatura degli oceani primitivi. Gianni chiese a Urey se

c'erano possibilità di lavoro a Chicago nel campo degli isotopi stabili ed egli gli disse subito di essere felice di ospitare un fisico con esperienza in chimica. Così Gianni decise, con l'approvazione di Amaldi, di andare a Chicago nell'anno accademico 1952-'53. Una importante motivazione fu che Gianni aveva sviluppato curiosità ed interesse per il problema dell'origine ed evoluzione della crosta terrestre, del pianeta Terra e del sistema planetario, di cui Urey stava diventando un esperto. La seconda ragione fu che trattava di andare a far ricerca all'*Institute for Nuclear Studies* di Chicago, che Giorgio Careri (e non solo lui) aveva tanto decantato. Gianni vinse una borsa di studio Fulbright e si accinse ad affrontare questa importante fase della sua vita scientifica.¹

Nel settembre del 1952 Gianni partì per gli Stati Uniti, dopo una serie affrettata di lezioni d'inglese parlato, che conosceva poco e male. Il lavoro sulla reazione di scambio idrogeno-deuterio andò avanti molto bene con la partecipazione di Volpi e Careri prima, e poi anche con quella di Cimino

¹ Apro ora una parentesi per descrivere un'attività cui mi dedicai con passione al di fuori della ricerca scientifica, pur essendo legato alla vita universitaria. Ciò avvenne negli anni 1950-'51: la partecipazione ad attività sindacali. Esisteva a Roma la sezione dell'Unione Nazionale Assistenti Universitari (U.N.A.U.), che di fatto era una confederazione di associazioni locali. Quella di Roma si chiamava A.R.A.U. (Associazione Romana Assistenti Universitari) e funzionava per merito della gestione personale di un anziano assistente di Lettere. Occorreva promuovere una gestione più democratica e il collega fisico Lucio Mezzetti, mio caro amico, che se ne era occupato per un certo periodo, chiese a me se volevo prendere il suo posto. Bisognava rifondare l'A.R.A.U. con criteri democratici ed elettivi, ed a questo ci accingemmo un piccolo gruppo di persone, tra cui Eugenio Bonetti, assistente di ruolo di Patologia Generale, come presidente pro tempore, ed io, misero assistente straordinario, come segretario. Partecipammo ad un congresso nazionale dell'U.N.A.U. a Messina, che ci portò utili informazioni, ed organizzammo a Roma elezioni generali, che si conclusero nell'estate del 1952, poco prima della mia partenza per l'America. Conobbi in quelle circostanze alcuni colleghi di altre Facoltà, che si resero noti nel seguito, come Paolo Sylos Labini, economista. Cominciò così la dura battaglia sindacale perché agli assistenti fosse riconosciuta la qualifica di personale docente e perché si attuasse una generale riforma delle strutture universitarie. Dopo pochi anni la battaglia approdò a buon fine.

Si formò in quegli anni anche l'A.S.R.F. Associazione Sindacale dei Ricercatori di Fisica, che giocò poi un ruolo importante nei rapporti tra i ricercatori fisici, gli Enti di ricerca (particolarmente l'INFN) e l'autorità statale. Presi parte attivamente alla vita di questa associazione che ebbe un ruolo trainante nella vita dei ricercatori, stabili rapporti stretti con il Consiglio Direttivo dell'INFN (tanto che fui spesso invitato alle riunioni di quel consesso), e fu utile nelle trattative con le alte autorità dello Stato. Questa attività sindacale mi formò come uomo oltre che come fisico, e ne conservo un ricordo molto gradevole.

e Molinari al loro ritorno da Princeton, e si concluse al ritorno di Gianni da Chicago all'inizio del 1954, come risulterà nel seguito. Terminò così la permanenza romana di Gianni, un periodo fantastico dal punto di vista dell'ambiente scientifico ed umano che era rappresentato a quel tempo dal gruppo dei fisici romani, sotto la guida di Edoardo Amaldi. Egli imparò un mucchio di cose, ma soprattutto un modo di vita che gli era congeniale e che non abbandonò più. I risultati pratici che Gianni conseguì nella ricerca scientifica svolta a Roma furono in realtà piuttosto deludenti. Accanto ad attività che si conclusero con molta soddisfazione, come quella del funzionamento dello spettrometro di massa, quella sulla reazione di scambio e quella dell'abbondanza degli isotopi in natura, Gianni andò incontro, più per sfortuna che per sua responsabilità, ad alcuni fallimenti, da quelli iniziali nella ricerca di fisica nucleare, a quelli successivi della non utilizzazione dei tubi di Clusius e del mancato successo negli esperimenti con gli isotopi radioattivi, imparando tuttavia a diventare un buon sperimentale. Ma Gianni non si scoraggiò. Forse le difficoltà servirono a fortificarlo nell'affrontare i problemi che sempre si incontrano in un lavoro creativo e costruttivo. Egli partì sereno per gli Stati Uniti e si trovò ad aver ragione, come si racconterà nei prossimi capitoli.

Gianni partì per gli Stati Uniti da Genova con il transatlantico *Vulcania* nel Settembre del 1952. Viaggiarono con lui in seconda classe vari altri borsisti Fulbright, per la maggior parte letterati (a parte un baritono americano); era imbarcato sulla stessa nave anche Giacomo Morpurgo, detto Pimpi, fisico teorico romano, che viaggiava in prima classe perché aveva ricevuto una borsa dall'industria; si recava anche lui a Chicago. Fu una traversata indimenticabile non solo perché era per Gianni il primo viaggio in mare, ma specialmente per l'atmosfera che regnava tra i borsisti in vista delle esperienze che li aspettavano negli Stati Uniti, considerati allora la culla della democrazia, il luogo della libertà e il regno della ricchezza. Fu molto interessante lo scambio di opinioni tra persone di diversa estrazione, ma tutte di elevato livello culturale, ed era piacevole passare una diecina di giorni di vacanza in gruppo prima di affrontare le difficili prove che singolarmente le singole persone avrebbero dovuto affrontare.

All'arrivo a New York il gruppo rimase ancora qualche ora unito ad assaporare le prime esperienze americane, e poi ci fu la triste separazione. Sulla banchina del porto Gianni era aspettato da Ettore Molinari e Alessandro Cimino, che erano venuti appositamente da Princeton per accoglierlo insie-

7. Giovanni Boato

me a Pimpi e per introdurre ambedue nella vita quotidiana d'America. Per prima cosa si andò a consumare un lunch a base di “spaghetti and meat balls” e “apple pie” e a bere Coca Cola. Poi ci fu la visita a Times Square e la salita sull'Empire State Building. Il giorno dopo Gianni partì per Pittsburgh, dove lo aspettava Fausto Fumi, che faceva ricerca in fisica teorica nella locale Università. Lì Gianni conobbe Gian Carlo Wick e l'economista Franco Modigliani. La sera a mezzanotte egli fu imbarcato su un treno per Chicago, sperimentando la carrozza letto americana, poco più di un insieme di cuccette tutte affacciate sullo stesso corridoio, in cui si veniva introdotti da inservienti di colore insieme alle grandi valigie.

L'arrivo di Gianni a Chicago avvenne la mattinata successiva. Il punto finale di arrivo era l'International House, presso l'Università di Chicago, una casa dello studente per giovani laureati stranieri e per ‘graduate students’ americani (metà e metà). Il posto era gradevole e ben organizzato, con tutti i tipi di servizi e di trattenimenti. L'accoglienza fu amichevole e, presa conoscenza dei segreti della casa e della natura dei pasti, Gianni fu alloggiato in una camera standard, piccola ma confortevole. Il giorno stesso Gianni si recò all'*Institute for Nuclear Studies*, si presentò a Urey, che lo accolse molto amichevolmente, e conobbe i suoi futuri compagni di lavoro. Ebbe inizialmente difficoltà con l'inglese americano, ma in pochi mesi superò i maggiori ostacoli.

L'*Institute for Nuclear Studies* era parte di un nuovo grande edificio, chiamato *Research Institutes Building*, che aveva i locali tutti tra loro comunicanti e dove avevano sede anche l'*Institute for Metals* e l'*Institute for Biology and Biophysics*, creati per accordo tra l'Università di Chicago (una delle Università più innovative di quell'epoca) e un gruppo di scienziati che avevano lavorato prevalentemente a Los Alamos nel famoso progetto Manhattan per la costruzione della bomba atomica, ma che avevano poi deciso di abbandonare ogni ricerca a sfondo militare per riprendere la ricerca scientifica di carattere fondamentale che fortemente amavano. La persona più coinvolta in questo accordo era Enrico Fermi, ormai integrato completamente negli Stati Uniti e considerato da tutti come uno dei fisici più autorevoli ed eruditi presenti non solo a Chicago ma in tutti gli Stati Uniti. Le persone che avevano lo studio e/o il laboratorio nel Building comprendevano scienziati di estremo valore, tra cui, oltre a Fermi, i fisici Gregor Wentzel, Maria Goeppert Mayer, John Marshall, Marcel Schein, i chimici Harold Urey e Willard Libby, il meccanico statistico Joseph Mayer,

l'astrofisico Subrahmanyan Chandrasekhar il neo-biofisico James Franck, il metallurgista Cyril Smith, il solidista Norman Nachtrieb e molti altri. Tutti insegnavano all'Università di Chicago, ma la loro vita scientifica si svolgeva nel Building. Il nuovo centro era stato concepito come un luogo di ricerca a carattere interdisciplinare, allo scopo di tenere a contatto scienziati di diversa estrazione e favorire attività altamente innovative. Il centro disponeva di risorse finanziarie pressoché illimitate ed era pertanto un luogo ideale per effettuare ogni tipo di ricerca. Gianni rimase estasiato ed incredulo, particolarmente quando scoprì che, nella sua qualità di Research Associate dell'*Institute for Nuclear Studies*, che gli fu subito riconosciuta, poteva prelevare a piacimento materiale ed attrezzature scientifiche di ogni tipo dai numerosi 'magazzini' che esistevano nei tre Istituti, apponendo solo la sua firma in un registro. Un salto di qualità inenarrabile rispetto a quello che succedeva non solo in Italia, ma credo in qualunque altro luogo in Europa.

Gianni si accinse a scegliersi un tema di ricerca, che fu poi quello già accennatogli da Urey in una bella lettera che gli aveva inviato a Roma nel mese di luglio, cioè la determinazione dell'abbondanza del deuterio nelle meteoriti. In quella lettera gli aveva anche scritto testualmente: "I doubt very much if \$170 per month (l'ammontare della borsa Fulbright) will be sufficient for you here at Chicago. On the other hand so far as I can see there is nothing to prevent me from paying you part time for work... We will fix this up when you get here." La preoccupazione di Urey era anche motivata dall'intercessione esercitata dal fisico Valentino Telegdi, che era giunto a Chicago alcuni mesi prima di Gianni per lavorare in fisica delle particelle vicino a Fermi; egli sapeva che l'ammontare della borsa non era gran cosa per affrontare la vita americana. Gianni ebbe così, oltre alla posizione di Research Associate, anche un'integrazione di stipendio di \$130 mensili, che gli resero la vita a Chicago decisamente confortevole.

Gianni trovò un laboratorio completamente funzionante, con tre spettrometri di massa di alta sensibilità del tipo ideato da A. O. Nier, ma specializzati per la determinazione delle abbondanze relative degli isotopi stabili degli elementi leggeri, uno dei tre interamente dedicato all'idrogeno. I tecnici erano estremamente capaci e completamente disponibili, in particolar modo quello addetto all'utilizzo degli spettrometri ed alla accuratezza delle analisi, Toshiko Mayeda, una signora giapponese molto cordiale che aveva contribuito alla messa a punto degli strumenti stessi. Sovrintendeva al

lavoro di laboratorio, subito dopo Urey, un ricercatore scozzese di nome George Edwards, che era l'unica persona ingrata, ma fortunatamente poco dannosa. I principali utilizzatori degli spettrometri erano, oltre ad Edwards (essenzialmente un tecnico), Harmon Craig, un geologo e geochimico; Cesare Emiliani, un paleontologo italiano specialista in foraminiferi e Gianni. Harmon Craig, da tutti chiamato Ham, aveva appena terminato la tesi di dottorato, un'indagine completa sull'abbondanza in natura dell'isotopo 13 del carbonio, ed aveva svolto con Urey un ponderoso lavoro sistematico sulla classificazione e sull'origine delle meteoriti. Egli divenne subito il migliore amico di Gianni e un eccellente consigliere nei riguardi della geologia.

La prima cosa che Gianni realizzò fu la raccolta dei campioni meteoritici. Egli concentrò il suo interesse sulle meteoriti, o condriti, carboniose, di ancor incerta origine, ma che contenevano, oltre al carbonio in quantità elevata, anche una notevole percentuale d'acqua legata chimicamente ai minerali e di sicura origine extraterrestre (le condriti carboniose sono probabilmente una parte del residuo della primitiva nuvola di gas e di polvere che circondava il sole al momento della formazione dei pianeti). Non fu difficile procurarsi una dozzina di frammenti di queste meteoriti e di altre condriti da vari musei in America e in Europa, nonostante la riluttanza dei conservatori dei musei, tutto grazie all'autorevolezza ed alla fama di Urey. Gianni collezionò un campionario di meteoriti da far invidia a qualunque studioso del sistema planetario. Egli costruì poi un apparecchio per l'estrazione dell'acqua dai campioni mediante riscaldamento e purificazione. L'apparecchio gli consentiva anche, mediante combustione con ossigeno ad alta temperatura, di raccogliere tutto il carbonio ivi contenuto sotto forma di anidride carbonica. L'acqua veniva successivamente trasformata in idrogeno e i due gas così preparati venivano usati per determinare le abbondanze isotopiche del deuterio e del carbonio 13 in rapporto a quelle delle sorgenti terrestri. Gianni trovò un risultato molto interessante: il contenuto in deuterio di diverse meteoriti carboniose era leggermente maggiore di quello dell'acqua terrestre, ma non tanto da escludere che i due tipi di idrogeno potessero avere avuto una comune origine e che la differenza potesse essere dovuta a frazionamenti isotopici nel corso dell'evoluzione del sistema planetario. Tuttavia il risultato più importante fu la dimostrazione che l'idrogeno meteoritico non aveva provenienza solare, in quanto il deuterio eventualmente presente nella materia solare sarebbe stato completamente consumato dalle reazioni nucleari in seno all'astro. Piuttosto sembrava pro-

babile che le meteoriti carboniose facessero parte della materia fredda che circondava il sole al momento della sua formazione. Urey fu molto soddisfatto del risultato, che fu subito comunicato alla *Physical Review*. Oltre a questo, le analisi del carbonio 13 dimostrarono che la sua abbondanza nei meteoriti rientrava nella media delle analisi dei campioni terrestri esaminati da Harmon Craig. Questi fu molto ammirato del nuovo metodo ideato da Gianni per l'estrazione del carbonio dai campioni che lo contenevano, poiché esso dava risultati completamente identici ai suoi, quando misurati su campioni identici. Da quel momento Gianni fu considerato un esperto chimico da tutto il laboratorio. Prima dell'estate del 1953 egli aveva completato il lavoro assegnatogli, che fu pubblicato con il titolo "The isotopic composition of hydrogen and carbon in the carbonaceous chondrites" su *Geochemical and Cosmochemical Acta* [9].

7.9 *L'Institute for Nuclear Studies*

È interessante tornare un poco indietro e fare un quadro della vita che si svolgeva nell'*Institute for Nuclear Studies*. Il personaggio dominante era Enrico Fermi. Celebri erano i seminari che si svolgevano ogni giovedì pomeriggio. Non veniva quasi mai annunciato l'argomento, né il conferenziere. Si entrava in una bella sala munita di comode poltrone. In prima fila erano seduti Fermi, Urey, Mayer, Wentzel, Chandrasekhar e la sala era gremita dalla staff dei vari istituti e da eventuali ospiti. Come uditori erano ammessi tutti i ricercatori, fino alla posizione di research associate, ma non i graduate students. All'ora stabilita, puntualmente Fermi prendeva la parola, annunciando eventualmente il discorso di qualche illustre visitatore. Se non c'erano visitatori, Fermi si voltava verso l'uditorio e diceva "There is somebody that has something to say?". Se c'era qualcuno, era uno dell'Istituto che da mesi si stava preparando a parlare su qualche importante argomento del suo lavoro. Se non c'era nessuno, di regola Fermi si alzava e diceva che aveva lui qualcosa da dire e parlava di argomenti di grande attualità, come il metodo sperimentale della focalizzazione forte per gli acceleratori di particelle, la sezione d'urto protone-protone o l'origine dei raggi cosmici. Era sempre chiarissimo, così chiaro che rendeva facili gli argomenti più difficili. Era solo dopo, quando si meditava sulle cose ascoltate, che ci si accorgeva di quanto fosse difficile approfondire o capire a fondo l'argomento. Aveva poi luogo una discussione, a cui pochi si azzardavano di partecipare. Essi

7. *Giovanni Boato*

erano i due Mayer, Wentzel, il giovane Gell-Mann e qualche altro. Valentino Telegdi, sempre presente, chiamava quel gruppo di scienziati riunito nel seminario 'la Corte di Enrico I'. Pochissimi si cimentavano a polemizzare direttamente con Fermi, l'unico che Gianni sentì interloquire vivacemente con lui fu Harold Urey, uomo del West, che un giorno gli disse perfino "Shut up, Enrico!".

Si poteva facilmente andare a discutere o chiedere consigli a vari illustri personaggi. Gianni, per esempio, ebbe interessanti conversazioni con Willard Libby, lo scopritore del carbonio 14 e del tritio nell'atmosfera (che però non lo vedeva con simpatia, senza una ragione plausibile) e poi con Marcel Schein, esperto di raggi cosmici, circa l'eventuale effetto di questi sulla variazione del contenuto in deuterio dei meteoriti. Con Fermi, Gianni non si azzardò mai a discutere di argomenti scientifici, essenzialmente per la soggezione che metteva, a lui come a tutti, la sua enorme erudizione. Gianni ebbe contatti più ampi con Fermi solo in occasione di alcune visite a casa sua, invitato dalla moglie Laura, molto gentile ed amichevole, insieme ad altri membri della colonia italiana di Chicago. Gianni discuteva invece spesso con Urey, e pressoché ogni giorno con Ham, di problemi relativi alla nostra ricerca e di argomenti più generali. Ebbe anche frequenti contatti con Valentino Telegdi, il fisico ebreo-ungherese conosciuto intimamente in Svizzera. Valentino invidiava le capacità sperimentali di Gianni e lo voleva convincere a ritornare a far ricerca in fisica nucleare, con l'uso degli acceleratori, ma ormai per Gianni la strada era tracciata. Alla fine, Gianni e Ham decisero di condurre insieme una ricerca sull'abbondanza isotopica del deuterio e dell'ossigeno 18 nelle acque di origine vulcanica e termale. Per questo Gianni si preparò ad un viaggio sul campo, simile a quello compiuto in Italia con Mariano Santangelo (ma Ham non poté associarsi), allo scopo di prelevare acque in varie zone vulcaniche d'America, situate tutte nell'estremo West degli Stati Uniti. In effetti scopo ulteriore del viaggio era il prelevamento di gas emananti nelle stesse zone, per determinare in essi l'abbondanza degli isotopi dell'azoto, un problema che nessuno aveva ancora affrontato. In più, tutto era una buona occasione per Gianni per compiere una visita turistica nella parte occidentale degli Stati Uniti. Gianni prese in quel momento anche la decisione di rimanere a Chicago fino alla fine del 1953, essendogli stato assicurato uno stipendio anche dopo la scadenza delle sua borsa di studio Fulbright.

All'inizio di agosto, terminati i preparativi, Gianni partì con Bill, un tec-

nico del laboratorio, usando la sua grande auto carica di attrezzature per il prelevamento dei campioni. Egli aveva da poco imparato a guidare l'automobile, aveva addirittura comprato una vecchia macchina che usava solo per circolare in città. Conseguì la patente definitiva alcuni giorni prima di intraprendere il viaggio, così egli avrebbe potuto alternarsi a Bill nella guida della macchina. Il viaggio cominciò lungo la famosa 'Route 66', l'itinerario standard di viaggio per recarsi da Chicago in California. Il viaggio fu teatro di parecchie avventure, che non verranno raccontate. Furono visitati il Texas, il 'Painted Desert', il Gran Canyon e Las Vegas. Dopo tre giorni fu raggiunta Los Angeles, città di poco interesse, salvo i dintorni. Fortunatamente in California si mangiava decisamente meglio che nei ristoranti standard sperimentati durante la prima parte del viaggio. A questo punto fu intrapresa la visita delle località vulcaniche, cominciando da quella 'The Geysers', con numerose fumarole e sorgenti calde di acqua solforica, dove furono raccolti numerosi campioni di acqua e di gas. In questa località avevano cominciato a eseguire trivellazioni, per riuscire a prelevare vapore surriscaldato, con il quale far funzionare una centrale elettrica, così come in Italia era già avvenuto a Larderello. La prossima tappa fu San Francisco, una città molto gradevole, con aspetti europei, ben diversa per le condizioni di vita da altre città americane, Chicago compresa, snaturate e anche disumanizzate.

Ulteriore tappa del giro di studi fu Lassen Volcanic Park, nel Nord della California, dove si trovava un terreno veramente vulcanico, anche se non molto attivo. Vi erano molte fumarole e pozze calde, da cui venivano sprigionati gas sulfurei e da cui furono prelevati abbondanti campioni di acqua e di gas. Il viaggio proseguì poi verso est, per raggiungere Yellowstone, attraversando di nuovo il Nevada, dove fu visitata Reno e la maggiormente interessante Carsson City, una cittadina abbandonata nata al tempo dei cercatori d'oro e mantenuta in vita come tipico esempio del vecchio Far West. Passando per Salt Lake City, la città dei Mormoni, infine si giunse nel Parco di Yellowstone con i suoi meravigliosi geysers, veri e funzionanti, non come quelli virtuali della località 'The Geysers'. È un posto bellissimo dal punto di vista naturale oltre che spettacolare, e ideale per il prelevamento dei gas e delle acque di natura vulcanica. Fu fatto il pieno di campioni, con molta soddisfazione.

Il viaggio di ritorno si compì nella parte settentrionale degli Stati Uniti, attraversando il South Dakota e i Badlands, i luoghi dove aveva regnato

7. Giovanni Boato

Buffalo Bill, e, dopo due giorni di viaggio continuo, fu raggiunta Chicago. Gianni era sfinito, ma felice del meraviglioso viaggio di oltre diecimila chilometri e del successo della spedizione scientifica. Dopo due o tre giorni di assoluto riposo nel caldo torrido di Chicago, Gianni riprese il lavoro in laboratorio. Nello scorcio dell'anno egli mise a punto e utilizzò l'apparecchio per la preparazione dell'azoto contenuto nei campioni gassosi raccolti ed in altre sostanze, minerali e di origine biologica, ma non ne fece nulla perché le variazioni di abbondanza isotopica dell'azoto 15 erano insolitamente piccole e quindi di scarso interesse. Invece i risultati ottenuti con i campioni d'acqua sui frazionamenti isotopici dell'idrogeno e dell'ossigeno furono del massimo interesse e ne venne fuori un bel lavoro in collaborazione con Harmon Craig, con il titolo "Isotopic Geochemistry of Thermal Waters" [12]. Il risultato più interessante fu che l'acqua raccolta nelle località vulcaniche era acqua piovana riciclata avente la composizione isotopica media dell'acqua atmosferica alla longitudine del luogo di prelevamento. Con Harmon Craig Gianni scrisse più tardi un lavoro di rassegna dal titolo "Isotopes", pubblicato su *Annual Review of Physical Chemistry* [13].

Per Gianni era ormai giunta l'ora del ritorno, con grande rimpianto, ma con una gran voglia di rientrare in Italia. Egli decise di effettuare la traversata transatlantica di ritorno con la motonave inglese 'Queen Elisabeth', in modo da rendergli possibile la visita di Londra e di Parigi. Gianni partì in treno per New York, dove si trattene qualche giorno per visitare musei e rivedere amici, tra cui Bruno Zumino, il teorico romano che ora lavorava all'Università di New York e che lo ospitò molto cordialmente. Sempre stupenda la Grande Mela! La traversata di ritorno fu per Gianni un po' triste, con la duplice nostalgia di ciò che aveva lasciato e di ciò che lo aspettava. Egli trascorse la sera di Natale con un gruppetto di Inglesi, che stavano con lui in cabina e che alla fine si ubriacarono di birra.

Gianni arrivò felicemente a Londra, dove trascorse due giorni piacevoli, e si ritrovò per Capodanno a Parigi, dove aveva appuntamento con Bernard Decaux, che si era perfezionato in tecnica bancaria. Egli passò due o tre giorni felici a Parigi e dintorni e finalmente arrivò in treno a Genova verso l'Epifania, dove suo padre e suo fratello lo aspettavano felicissimi. Tra Gianni e suo padre vi era stata una corrispondenza fittissima durante il soggiorno a Chicago: il padre lo aveva tenuto costantemente al corrente degli avvenimenti non solo familiari, ma anche politici e nazionali, inviangli abbondanti ritagli di giornali, mentre Gianni gli aveva mandato ampi

resoconti della vita americana.

Il soggiorno americano di Gianni ebbe così termine. Pur avendo avuta qualche tentazione di rimanere negli Stati Uniti (anche in seguito a precise offerte di lavoro), egli alla fine aveva concluso che il suo luogo di lavoro naturale era l'Italia, sia per l'attività vera e propria (c'era ancora tanto da ricostruire!), sia per il modo di vivere, nulla di confrontabile con la decantata 'american way of life'. Gianni ebbe comunque la soddisfazione di ricevere una cordialissima lettera di Urey, che gli scrisse testualmente il 27 gennaio: "We are glad to learn that you have arrived back in Italy, and awfully glad that you were able to spend some time with us. In fact, the laboratory down the hall seems lonesome since you have left". E subito dopo, con lo spirito pratico americano: "I hope very much that you will write up your work promptly... Please make a real effort to get this done".

7.10 A Genova con Ettore Pancini

Durante il soggiorno negli Stati Uniti, Gianni più volte pensò di che cosa si sarebbe occupato al suo rientro in Italia. Gli sarebbe piaciuto continuare a lavorare con Giorgio Careri a Roma, ma aveva anche l'ambizione di costituire un suo proprio laboratorio di ricerca, dove avrebbe volentieri continuato le ricerche sugli effetti isotopici che aveva iniziato a Chicago. I dubbi furono risolti in questo senso dal fatto che Ettore Pancini, ex assistente di Amaldi, aveva vinto il concorso a cattedra e nell'Anno Accademico 1952-'53 era stato chiamato a Genova. Egli aveva preso il posto di Augusto Occhialini nella Cattedra di Fisica sperimentale ed aveva deciso di rimettere a nuovo l'Istituto di Fisica, che si trovava nello stesso pietoso stato di quando Gianni aveva lasciato Genova per Roma, nonostante la fugace apparizione di Occhialini figlio (Giuseppe, detto Beppo), subito trasferitosi a Milano. Pancini scrisse più volte a Gianni a Chicago, offrendogli la possibilità di fondare a Genova un laboratorio di spettrometria di massa, e promettendo di fargli avere al più presto un posto di assistente di ruolo, oltre che assicurargli un incarico di insegnamento. Le promesse erano più che allettanti, dato che, se Gianni fosse rientrato a Roma, avrebbe dovuto attendere un imprecisato numero di anni per avere una posizione analoga, in quanto Amaldi seguiva uno stretto ordine di anzianità nell'assegnare i posti di assistente. Il ritorno a Genova costituiva per Gianni anche un rien-

7. *Giovanni Boato*

tro in famiglia, con gioia di suo padre che si sentiva solo, ora che il secondo suo figlio si era laureato ed aveva trovato lavoro a Milano.

Gianni non ebbe dunque eccessivi dubbi sulla scelta da fare al suo rientro in Italia, pur rammaricandosi di dover abbandonare l'Istituto del professor Amaldi e il gruppo di Giorgio Careri. A Genova trovò un Istituto di fisica carico di problemi da risolvere, ma con una volontà di rinnovamento tra i giovani che non avrebbe immaginato. Tutto era merito di Ettore Pancini, che non solo aveva la grinta necessaria, ma sapeva infondere negli altri un grande entusiasmo per i problemi da affrontare. Egli aveva già mobilitato un gruppo di collaboratori scientifici, alcuni locali ed altri importati da altre sedi. Localmente aveva trovato la collaborazione di Antonio Borsellino, chiamato da qualche anno alla cattedra di Fisica Teorica, ed il supporto di Mario Carrassi, fisico teorico di estrazione matematica, ma dotato di grande spirito costruttivo. Aveva poi convinto Alberto Gigli Berzolari, di origine pavese e già collaboratore di Amaldi a Roma, a diventare aiuto dell'Istituto con importanti compiti organizzativi. Gigli avrebbe avuto inoltre la responsabilità di un gruppo di ricerca sperimentale per la costruzione e messa a punto di camere a bolle per ricerche di Fisica delle particelle. Oltre a ciò poterono essere assunti parecchi tecnici, tutti o quasi di notevole abilità. Tutto nasceva sotto gli auspici dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, da poco istituito, e di cui Genova sarebbe divenuta una Sezione nel corso di qualche anno.

Così, a metà dell'anno 1954, con pochi mezzi e con grande entusiasmo – sostenuto incondizionatamente da Pancini, che nel frattempo aveva promosso la costituzione di un'ottima officina e di un moderno laboratorio di elettronica – Gianni iniziò il lavoro nel campo della spettrometria di massa e degli effetti di frazionamento isotopico. Il programma di ricerca era un naturale ampliamento di quello svolto da Gianni a Chicago, rivolgendosi non solo alla variazione delle abbondanze isotopiche in natura, ma principalmente allo studio dei frazionamenti isotopici negli equilibri di fase. Lo spettrometro di massa, una variante di quelli che Gianni aveva usato a Chicago, fu progettato e interamente costruito nella sede di Viale Benedetto XV, mettendo in opera le strategie volute da Pancini, al fine di dotare i ricercatori e i tecnici dell'Istituto di competenze nel campo delle tecnologie avanzate. La gran parte dell'apparecchio fu costruita in Istituto. Solo il magnete deflettore fu commissionato alla Società Ansaldo. I collaboratori diretti di Gianni a quel tempo furono l'ingegner Aldo Sanna, il dottor Max Reinharz e Maria

Emilia Vallauri, futura moglie di Gianni. I tecnici coinvolti erano tutti di notevole abilità.

Due anni e mezzo furono necessari per costruire e mettere a punto il nuovo strumento, che risultò funzionare perfettamente. I mezzi finanziari, forniti quasi esclusivamente dall'INFN, risultarono inferiori a quelli occorrenti e inizialmente promessi da Pancini. Fu così necessario procurarsi un auto-finanziamento. Arrivò l'aiuto finanziario insperato del professor Ezio Tongiorgi, che aveva recentemente deciso di fondare a Pisa un moderno centro di ricerche in geologia nucleare; egli propose una collaborazione nel campo delle abbondanze isotopiche in natura, che risultò in seguito molto fruttuosa. Fu deciso così di costruire non uno ma tre strumenti pressoché identici. Uno era destinato a Genova, il secondo fu consegnato ai pisani ed il terzo, alcuni anni dopo, finì a Roma, all'Istituto di Geochimica del professor Fornaseri. I due strumenti in sovrappiù furono messi a punto a Genova, funzionarono benissimo e furono puntualmente pagati dai committenti (rimborsando le spese, che comprendevano in buona parte anche quelle effettuate per lo strumento di Genova). Essi rimasero in opera per un notevole numero di anni nelle rispettive sedi per misure di precisione dei frazionamenti isotopici naturali. Il lavoro sulla costruzione dello spettrometro di massa fu pubblicato a nome di Boato, Sanna, Vallauri e Reinharz sul *Nuovo Cimento* con il titolo "Uno spettrometro di massa di elevata sensibilità" [19].

7.11 Spettrometria di massa e frazionamenti isotopici

Le ricerche svolte a Genova si orientarono principalmente su una ricerca chimico-fisica di tipo fondamentale e precisamente sulla determinazione del frazionamento isotopico negli equilibri di fase, iniziando dal passaggio di stato liquido-vapore di sostanze monoatomiche (argon e neon) e biatomiche (azoto, ossigeno, ossido di carbonio, ecc.). Fu costruito un apparecchio adatto, che funzionò egregiamente. Si doveva lavorare nel campo delle temperature dell'aria liquida e, per il neon, nel campo di quelle dell'idrogeno liquido. In quest'ultimo caso, si decise di portare l'apparecchio a Frascati, nel locale laboratorio criogenico (associato al nuovo sincrotrone e fondato da Giorgio Careri, con la direzione di Giancarlo Moneti), che disponeva di idrogeno liquido. Le misure di frazionamento isotopico negli equilibri

7. Giovanni Boato

di fase furono eseguite negli anni dal 1959 al 1962 in collaborazione con Maria Emilia Vallauri, ormai sposata con Gianni, e con Giacinto Scoles e Gualtiero Casanova che ne fecero oggetto della loro tesi di laurea. Scoles e Casanova divennero subito preziosi collaboratori di Gianni e continuarono nel lavoro di ricerca. La teoria per interpretare le misure non era semplice: Gianni fece visita al professor Biegeleisen, nel laboratorio di Brookhaven, e fu invitato alla *Gordon Conference* sugli isotopi nel New Hampshire; imparò molte cose ma non riuscì a sbrogliarsi nei riguardi della teoria. Fu per merito della collaborazione di Casanova ed in particolare del giovane e brillante teorico Andrea Levi che il problema arrivò a soluzione, ed in modo completo e definitivo. Fu stabilito mediante la meccanica statistica che il fattore di frazionamento, già studiato da famosi scienziati quali Wigner, Mayer e Landau, era legato ad un'espressione differenziale (il cosiddetto "delta due") associata alle forze con cui le molecole sono legate tra loro nello stato condensato. Questo argomento fu pubblicato su *Journal of Chemical Physics* con il titolo "Isotope Effects in Phase Equilibria" [26]. In seguito fu pubblicato un secondo lavoro sull'intero argomento con il titolo "Separation factor in isotopic Phase equilibria" nel volume dedicato a H. C. Urey [28]. Il clou della ricerca ebbe luogo a Parigi nel 1963, in occasione di un congresso internazionale sugli effetti isotopici, dove Gianni tenne un'applaudita conferenza sull'argomento e ricevette le calde congratulazioni di Biegeleisen.

Nel frattempo il rinnovo dell'Istituto di Fisica sperimentale fu, come è stato accennato, un periodo felice per i docenti e i tecnici dell'Istituto ed in particolare per la vita di Gianni. L'atmosfera era serena, l'entusiasmo grande, e le persone erano concentrate solo nella riuscita dell'impresa di portare l'Istituto di Fisica di Genova al livello degli altri grandi istituti di fisica italiani. In pochi anni l'Istituto risultò trasformato, dotato di ottima amministrazione e di officine di alto livello, attrezzato per un insegnamento moderno, e piacevole da viverci. La conduzione era decisamente democratica, le decisioni principali erano prese in comune, pur essendo dominante la personalità di Pancini. Gli argomenti sperimentali principali furono la fisica nucleare e delle particelle (specialmente con la tecnica delle lastre nucleari), la fisica molecolare e la spettrometria di massa, oltre naturalmente la fisica teorica. In tutti gli argomenti furono ottenuti risultati scientifici di ottimo livello. A questi soggetti si aggiunse dopo alcuni anni la ricerca sperimentale in biofisica, promossa da Borsellino, che abbandonò del tutto

il lavoro teorico di elettrodinamica. Dopo alcuni anni l'Istituto divenne sede di una Sezione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, con personale proprio ricercatore e tecnico, e con un finanziamento non indifferente, sufficiente anche per attività di confine come la ricerca svolta da Gianni. Intanto Gianni cominciava ad interessarsi a problemi diversi da quelli del campo di ricerche fino allora da lui coltivato. Nel 1957, egli andò a seguire la Scuola di Varenna sulla Fisica dello Stato Solido, molto ben organizzata da Fausto Fumi. Li fece conoscenza con parecchi illustri fisici del settore, tra cui il francese Friedel, gli inglesi Mott e Ziman, e gli americani Seitz, Kohn e Schrieffer. Quest'ultimo fece una bellissima lezione sulla nuovissima teoria della superconduttività, appena ideata in collaborazione con Bardeen e Cooper. In questa Scuola Gianni apprese molti aspetti della fisica dei solidi che non conosceva e cominciò a meditare sulle prossime ricerche da effettuare. Fu a Varenna che furono piantati i semi delle successive ricerche di Gianni sui solidi di gas inerti, sulla superconduttività e sui momenti magnetici localizzati.



Figura 7.5: Da sinistra: Ettore Molinari, Giorgio Careri, Giovanni Boato, Gian Gualberto Volpi, a Varenna nel 1957.

In quei primi anni Gianni svolse un'intensa attività didattica insegnando essenzialmente la termodinamica avanzata, la meccanica statistica e le loro applicazioni. In seguito, dal 1956-'57 al 1959-'60 ebbe l'incarico di Fisica

7. Giovanni Boato

sperimentale II, un corso che faceva seguito al corso di Ettore Pancini del primo anno. Il corso era frequentato da fisici, matematici ed ingegneri. Fu allora che Gianni ed Ettore misero in cantiere una riforma dei contenuti dei corsi di Fisica sperimentale dei primi due anni. Nel primo anno Ettore insegnava tutta la fisica classica ad un livello elementare, dalla meccanica all'elettricità e al magnetismo, dalla termodinamica all'ottica geometrica. Nel secondo anno Gianni approfondiva la termodinamica, con l'introduzione delle funzioni di stato e con i primi fondamenti di meccanica statistica, e svolgeva la trattazione formale dell'elettromagnetismo e dell'ottica ondulatoria. Questa suddivisione della fisica rimase in vigore nell'Università di Genova per moltissimi anni, anche quando i fisici vennero separati dagli ingegneri, con notevoli vantaggi per la formazione e la maturità degli studenti. Nel 1958 Gianni scrisse, in collaborazione con la libreria Pacetti, il libro *Lezioni di termodinamica*, che evolse in seguito in un trattato di Termodinamica pubblicato dalla Casa Editrice Ambrosiana nel 1987.

Nel 1955 Gianni vinse il concorso per un posto di assistente di ruolo e nel 1956 conseguì la libera docenza in Chimica teorica. Nel 1959, con la partenza di Gigli, divenne aiuto dell'Istituto di Fisica sperimentale.

Intanto in Istituto Gianni avevo fatto buona conoscenza con Maria Emilia Vallauri, da tutti chiamata Punin, una giovane laureata in fisica, che aveva fatto la tesi di laurea con Beppo Occhialini mentre Gianni era in America. Un giorno lei andò a trovarlo per raccontargli che non si trovava bene nel laboratorio di elettronica dove lavorava come assistente straordinaria; disse a Gianni che avrebbe preferito fare ricerca nel suo gruppo e collaborare alla costruzione dello spettrometro di massa. Gianni fu subito d'accordo, ed ebbe l'approvazione di Pancini, il quale sapeva che Punin era un'eccellente ricercatrice e che sapeva bene come comportarsi nel lavoro manuale. Gianni e Punin lavorarono insieme per parecchi mesi a partire dal 1955 a mettere insieme i pezzi dello spettrometro, la cui costruzione andò avanti più rapidamente. Nel frattempo l'iniziale simpatia tra Gianni e Punin si trasformò in amore e all'inizio del 1956 fu deciso il fidanzamento ufficiale. In dicembre cominciarono i preparativi per il matrimonio che si svolse il 28 febbraio 1957 nella Chiesa di San Francesco di Albaro. Punin non era credente, come Gianni del resto, ma non si poté fare a meno di celebrare il matrimonio in chiesa, dato che i genitori di Punin erano fortemente religiosi e il padre di Gianni era assiduo praticante.

7.12 Bassissime temperature

Mentre stavano terminando le misure sui frazionamenti isotopici, in seguito agli interessi di Gianni per la fisica dei solidi e per le basse temperature, nel 1959–1960 si decise di installare un laboratorio dove poter eseguire ricerche alle temperature prossime all'elio liquido. Gianni aveva imparato a costruire ed adoperare criostati raffreddati con l'idrogeno e l'elio liquidi presso il laboratorio criogenico di Frascati, con l'aiuto di Moneti e del tecnico Solinas. Era poi andato a far visita al famoso laboratorio di Leida in Olanda, dove all'inizio del secolo Kamerlingh Onnes aveva scoperto la superconduttività ed aveva liquefatto l'elio. Qui Gianni trovò molto aiuto e molti amici: tra loro principalmente Jan Beenakker, un bravo fisico molecolare, che poi venne ripetutamente a Genova allo scopo di insegnare come perfezionare i criostati. Gianni si sentiva ormai in grado di iniziare ricerche in questo settore; egli ebbe la fortuna di trovare tre ottimi laureandi, due dei quali divennero poi suoi essenziali collaboratori: Gaetano Gallinaro e Carlo Rizzuto. Con il loro aiuto e con quello del tecnico Solinas (che venne apposta da Frascati) e dei tecnici INFN assegnati al gruppo, principalmente di Adelio Parodi, fu messo in funzione un compressore per il ricupero dell'elio gassoso evaporato dai criostati e furono approntati i primi apparecchi di misura per studiare fenomeni di superconduttività. L'elio liquido era fornito da Frascati, con spedizione ferroviaria in adatti recipienti criostatici, e veniva restituito come elio gassoso compresso in bombole. Si procedette a misure della temperatura di transizione superconduttiva di metalli drogati con impurità magnetiche e poi allo studio dell'effetto della corrente alternata sulla transizione superconduttiva, mentre Carlo Rizzuto si adoperava nella costruzione di un criostato ad elio 3 per poter fare ricerche a temperature inferiori a quelle dell'elio liquido. In meno di due anni era disponibile un laboratorio di ottima qualità per le ricerche a bassissime temperature.

Nell'anno 1960–'61 Gianni prese una nuova iniziativa. Poiché egli voleva misurare le proprietà di trasporto (diffusione e conducibilità termica) dell'argon solido – un cristallo legato da forze molto semplici (o di Van der Waals), che era stato ancora poco studiato, anche dal punto di vista teorico – e dato che mancavano uomini e mezzi, Gianni stipulò un contratto di ricerca con l'Ufficio di ricerca europeo dell'Esercito americano, che a quel tempo, con grande generosità, elargiva finanziamenti per sostenere la ricerca pura ed applicata dei paesi europei. Fu concordato un contratto

7. *Giovanni Boato*

triennale, che consentì non solo di avere mezzi, ma anche di assumere a contratto due persone che collaborassero alla ricerca. Essi furono Mario De Paz, un chimico genovese appena laureato, ed Adriano Berné, un giovane fisico milanese, consigliato da Roberto Fieschi, che era personalmente interessato alla teoria dei solidi di gas inerti. Il gruppo di ricerca si era ormai solidamente fortificato e le speranze che cominciassero ad uscire risultati si concretizzarono in tempi ragionevoli.

Il lavoro procedeva dunque a gonfie vele e Gianni cominciava ad essere veramente soddisfatto, tanto più che vedeva intorno a se un Istituto pienamente efficiente e completamente rinnovato. Purtroppo, nel 1961 Ettore Pancini si trasferì a Napoli. Egli era attratto, più che dalla ricerca, da iniziative di rinnovamento in qualche Università parzialmente in crisi. Napoli sembrava una sede adatta, ma di fatto egli non riuscì a ripetere quanto aveva così ben realizzato a Genova. Certamente un motivo per lasciare Genova fu anche quello che qui era arrivato dall'America Augusto Gamba, un personaggio molto affascinante, ma poco dotato di spirito costruttivo, salvo alcune idee teoriche brillanti, come quella di progettare una macchina per il riconoscimento dei caratteri e delle immagini, che fu di fatto realizzata a Genova (il cosiddetto PAPA) con la collaborazione di Guido Palmieri e di Aldo Sanna. Ora due galli in un pollaio come Pancini e Gamba, non potevano convivere, tanto più che Borsellino si era schierato provvisoriamente dalla parte di Gamba, cosa di cui poi si pentì amaramente. Così il fortemente amato Ettore Pancini lasciò definitivamente la sede di Genova.

7.13 La cattedra a Genova

La vita familiare di Gianni continuava in modo più che soddisfacente, anzi gioioso. Dopo la nascita di Alberta nel 1958, seguirono quelle di Luisa nel 1960 e di Anna nel 1961. Ma il lavoro scientifico ne patì, perché Punin non fu più in grado di continuare la ricerca a pieno tempo e di fungere da collaboratrice di Gianni.

La vita accademica procedeva regolarmente. Nel 1960-'61 e nel 1962-'63 Gianni insegnò rispettivamente Fisica dello Stato Solido e Struttura della Materia agli studenti di fisica del secondo biennio. Nel 1962-'63 assunse anche l'incarico di Fisica I per gli studenti di ingegneria, insegnamento che mantenne per parecchi anni. Era un corso pesante, con circa duecento studenti, svolto alla Fiera del Mare, ma che gli procurò parecchie soddisfazioni.

Vedere studenti appena iniziati fare grandi progressi nel corso di un anno e vederli maturare aveva qualcosa di sorprendente (non valeva per tutti, purtroppo!).

Purtroppo, la vita in Istituto, una volta partito Pancini, non era più quella di prima. Renato Malvano, il suo sostituto, era una persona signorile, tipicamente piemontese, ma non aveva né le capacità organizzative, né il carisma del suo predecessore, capacità necessarie per una direzione efficiente e democratica dell'Istituto di Fisica sperimentale. Fu poi chiamato alla cattedra di Struttura della materia Giacomo Morpurgo, l'amico Pimpi di Roma, che poi vero amico di Gianni non si era dimostrato nel passato, né lo fu quando si stabilì a Genova. La vita sincera e cordiale così felicemente instaurata da Pancini andò rapidamente deteriorandosi. Per fare un esempio che lo coinvolgeva interamente, Gianni, pur essendo ancora aiuto dell'Istituto, non contava più nulla, nel senso che non veniva più consultato per le decisioni di importanza generale. Tutto era nelle mani dei professori di ruolo. Per di più Gamba e Morpurgo avevano stabilito un rapporto reciproco molto stretto, montandosi a vicenda nelle polemiche e nelle inimicizie, con una posizione conservatrice sempre in antagonismo a quella di Borsellino e di Boato, così come del resto del personale docente e ricercatore. Per mantenere una completa indipendenza ed avere i loro assistenti personali, essi chiesero ed ottennero la costituzione di due nuovi Istituti universitari, di Struttura della materia e di Fisica superiore (tutto ciò fu l'inizio di una serie di guai, di cui riferirò nel seguito). Gianni cercò di ignorare la cosa, continuando nelle sue ricerche. Egli decise di presentarsi ai concorsi a cattedra; si sentiva ormai sufficientemente maturo per meritare la posizione di professore, dato che aveva pubblicazioni di qualità in numero sufficiente ed un curriculum didattico e scientifico di buon livello. Egli prese parte ai concorsi per la cattedra di Fisica sperimentale nel 1961 e nel 1962, ottenendo la maturità. Si ripresentò nuovamente nel 1963 al concorso per la cattedra di Struttura della materia dell'Università di Messina e questa volta fu messo in terna. Per questo successo ebbero certamente peso i lavori sull'argon solido e sulla superconduttività. Gianni fu chiamato a Genova alla cattedra di Fisica dello stato solido e prese servizio come professore straordinario il primo febbraio 1964. Gianni aveva finalmente conquistato l'indipendenza che da anni si prefiggeva.

Gianni ricevette le congratulazioni di moltissimi suoi colleghi e collaboratori. Anche se egli si riteneva obbligato verso Giorgio Careri ed Ettore

7. Giovanni Boato

Pancini, che gli avevano accordato fiducia, sentiva di essere particolarmente grato al professor Amaldi, che lo aveva a suo tempo accettato a Roma e lo aveva costantemente incoraggiato. Gianni gli scrisse una lettera di ringraziamento, ricordando i suoi insegnamenti e i meravigliosi anni trascorsi nel suo Istituto. Così Amaldi gli rispose:

Caro Boato,

grazie della tua lettera che mi ha fatto molto piacere; anch'io ricordo quando sei venuto a Roma con tutti i problemi del giovane che inizia la sua carriera, ma al tempo stesso con uno spirito fino, forse qualche volta troppo critico, orientato verso la ricerca del problema non ovvio, e non sulla strada dove passano tutti.

Questo spirito di finezza lo hai conservato e sviluppato nel seguito e questo, secondo me, è quello che ti caratterizza maggiormente e che ti rende ben meritevole del recente successo.

Ti posso assicurare che il tuo atteggiamento non mi fa certo venire in mente quello che tu mi attribuisce; mi fa solo riconoscere la stessa persona che ho conosciuto 15 anni fa, che, anche se maturata, ha saputo come non invecchiare con gli anni.

Non ci mancherà l'occasione di rivederci e di riparlare dei vecchi tempi che sotto certi punti di vista è gradevole rievocare, ma il tempo va avanti e ciò che più conta è l'avvenire.

Cordialmente, Edoardo Amaldi

La lettera non solo diede a Gianni grande soddisfazione, ma dimostrò ancora una volta, se ve ne era bisogno, le straordinarie qualità umane del professor Amaldi, che fu un elemento decisivo per la ricostruzione della fisica in Italia nell'immediato dopoguerra.

7.14 Il secondo periodo americano.

Gianni covava da tempo il desiderio di tornare negli Stati Uniti. Ora che aveva vinto la cattedra e che le sue figlie erano grandicelle, gli sembrò essere arrivato il momento opportuno per affrontare una nuova esperienza all'estero. Punin era pienamente d'accordo. Gianni si mise in contatto con i professori Lynton e Serin della Rutgers University, nel New Jersey, con i quali aveva avuto rapporti scientifici e che avevano mostrato qualità umane

gradevoli, oltre che essere esperti conoscitori della superconduttività. Essi, ed in particolare Bernie Serin, accolsero di buon grado la proposta di Gianni di trascorrere un anno nel loro Istituto, che aveva da poco acquisito una nuova e moderna sede. Gianni chiese dunque il congedo con assegni per dieci mesi (a causa degli esami non era possibile partire prima della fine di Ottobre), ed ottenne una sovvenzione Fulbright per il viaggio. In più, l'Università di Rutgers gli offrì un incarico di insegnamento di termodinamica e meccanica statistica, proprio quello che era per Gianni più congeniale. In tal modo la situazione finanziaria familiare era soddisfacentemente sistemata ed occorreva prepararsi alla partenza che fu stabilita per la fine di Ottobre del 1965.

La primavera e l'estate del 1965 furono occupate da Gianni per la sistemazione dei programmi di ricerca a Genova, dove i lavori sperimentali sulla superconduttività erano terminati (vedi l'articolo di Boato, Gallinaro e Rizzuto su "The effect of transition metal impurities on the critical temperature of superconducting Al, Zn, In and Sn" in *Physical Review* [36]), incluso quello ultimo e bellissimo con Gaetano Gallinaro sulla rivelazione dei quanti di flusso magnetico nei superconduttori del II tipo. Questa ricerca fu pubblicata in *Solid State Communications* con il titolo "Direct evidence for quantized flux threads in type II superconductors" [34]. Erano anche in via di completamento le ricerche sulle proprietà dell'argon solido, che si conclusero con misure soddisfacenti del coefficiente di conducibilità termica e con misure molto buone del coefficiente di diffusione alle basse temperature da parte di Berné e di De Paz rispettivamente. Il lavoro finale ebbe il titolo "Experiments in solid argon" e fu pubblicato sul *Nuovo Cimento*. Intanto Giacinto Scoles, dopo aver passato un periodo di tempo in Olanda a Leida, era rientrato a Genova ed aveva volentieri accettato di assumere la carica provvisoria di responsabile del gruppo di ricerca. Così Gianni partì tranquillo dal punto di vista delle attività di ricerca. La partenza da Genova fu commovente, per l'abbandono provvisorio del padre di Gianni, che rimase solo a Genova, accudito dalla signora che avevamo come ospite in casa. L'arrivo nel porto di New York fu drammatico, con cinque bauli ed una macchina da sdoganare.

Gianni e famiglia arrivarono felicemente con la Fiat 1500 familiare in un bell'albergo di New Brunswick, dove restarono alcuni giorni e sperimentarono il cibo americano, che, tranne qualche eccezione, piacque a tutti. Furono accolti calorosamente dagli amici americani Lynton e Serin e dalle

7. Giovanni Boato

rispettive famiglie, che prestarono ogni aiuto per la prima acclimatazione. Fu deciso di andare ad abitare in una zona residenziale appartenente all'Università, in località Piscataway, e destinata ai "graduate students", studenti di dottorato che spesso erano sposati e necessitavano di un periodo da due a quattro anni per conseguire il Ph.D. L'appartamento era piccolo ma aveva il vantaggio di essere a poca distanza dal Dipartimento di Fisica e di essere soggetto a continua manutenzione da parte dell'Università.

Gianni cominciò subito il lavoro di ricerca presso il Dipartimento di Fisica, consistente nella misura a basse temperature del potere termoelettrico di leghe contenenti impurezze di metalli di transizione, come lui aveva progettato e poi concordato con Bernie Serin. Gianni era così di nuovo occupato a pieno tempo in laboratorio, si costruì molte parti dell'apparecchio ed effettuò da solo gran parte delle misure, che risultarono interessanti ed in accordo con la teoria di Friedel. La ricerca fu pubblicata su *Solid State Communications* con il titolo "The thermopower of Aluminium with transition metal impurities" [37] e fu seguita da una seconda su "The Kondo effect in ZnMn" [40]. Trovò anche il tempo per completare la parte interpretativa delle misure di superconduttività effettuate con Gallinaro e Rizzuto a Genova, in contatto con Martin Zuckermann dell'Università della Virginia a Charlottesville, un simpatico teorico con cui si incontrò parecchie volte.

Il corso di termodinamica procedette molto bene, presto Gianni si affiatò con l'inglese e riuscì a svolgere in modo comprensibile le lezioni sull'interpretazione statistico-molecolare del calore e della temperatura e sulla generalità e applicazioni delle leggi della termodinamica. Gli studenti, del terzo anno di college, per metà fisici e per metà ingegneri, lo seguirono con attenzione, senza impedimenti linguistici e l'esame fu tenuto esclusivamente per iscritto.

Gianni e famiglia ebbero la fortuna di incontrare dei simpatici italiani, nelle persone di Andrea Frova, un fisico di Pavia che lavorava ai Laboratori Bell, di sua moglie Maria Piera e, della loro bambina Elena. Con loro i Boato trascorsero bellissimi giorni a Natale e Capodanno e diversi fine settimana, stringendo una duratura amicizia. Nella primavera Gianni e famiglia fecero vari viaggi nella parte orientale degli Stati Uniti, visitando per lavoro la Cornell University ad Ithaca e la Università della Virginia a Charlottesville e per diletto le cascate del Niagara e le città di Washington e Filadelfia. Durante l'estate si recarono in aereo in California, dove furono ospiti di Harmom Craig e famiglia. Affittarono una macchina e visitarono la costa

occidentale fino a raggiungere San Francisco, dove trascorsero alcuni giorni incantevoli. Lasciarono la macchina all'aeroporto e ripresero l'aereo che li portò indietro a New York. Non rimasero molto a Piscataway, prepararono i bauli e andarono ad abitare per qualche giorno in un albergo di New York prima di imbarcarsi sul transatlantico "Raffaello" che li avrebbe riportati a casa. I Frova li andarono a salutare, un po' invidiosi del loro rientro in Italia. Dopo circa otto giorni di piacevole viaggio, molto più piacevole per Gianni che quello di andata, la famiglia Boato rientrò a Genova.

7.15 Vita in Istituto ai tempi del '68

Gianni e Punin ripresero il lavoro, constatando come la vita in Istituto fosse cambiata da quella del tempo di Pancini. Gianni soffrì di un episodio piuttosto spiacevole, conseguenza dell'atmosfera che Gamba e Morpurgo avevano promosso e continuavano a promuovere in Istituto, o meglio nei quattro Istituti che erano ospitati nell'edificio di Fisica. Mentre era in America, Gianni aveva scritto ai colleghi professori in merito alle sue preferenze didattiche e scientifiche, proponendo di lasciare per un anno in via provvisoria l'incarico di Fisica I per ingegneri per dedicarsi completamente all'approfondimento della Fisica dello stato solido, insegnamento di cui occupava la cattedra, allo scopo di prepararsi alla futura ricerca. Gli fu risposto da Gamba e Morpurgo con una spiacevole lettera, in cui, accusandolo di essere un pelandrone, essenzialmente gli si intimava di non abbandonare l'insegnamento di Fisica I, pena un voto negativo in Facoltà sul suo ordinariato. Gianni non si degnò di rispondere alla lettera, conoscendo anche il parere degli altri professori, e, per non iniziare una lite, riprese quell'insegnamento senza protestare. Ma cominciò così un periodo di forte attrito con Gamba e Morpurgo, che sfociò due anni più tardi in un totale litigio in occasione delle contestazioni studentesche. Fortunatamente Borsellino fu totalmente al fianco di Gianni, e perfino Malvano e Diambrini non ritornarono mai sull'argomento. Questo episodio dimostra il clima che si era instaurato a Fisica dopo la partenza di Pancini.

L'attività di ricerca di Gianni stava passando un momento di crisi. Il lavoro sulla superconduttività e sui momenti magnetici localizzati dopo i primi successi non sembrava mostrare spunti innovativi e Gianni era sovraccarico di molte attività extra, di cui si parlerà fra poco. Fortunatamente Giacinto Scoles aveva messo in cantiere una proficua attività di ricerca con la tecnica

7. *Giovanni Boato*

dei fasci molecolari supersonici ed in particolare aveva cominciato a determinare le forze intermolecolari tramite esperimenti di collisioni molecolari, argomento di cui Gianni si era interessato a Roma, come riferito in precedenza. Ora le esperienze sognate con Careri una decina d'anni prima erano diventate realizzabili. In collaborazione con Maria Grazia Dondi e Franco Torello, e più tardi con Fernando Tommasini, Giacinto stava eseguendo misure sistematiche di sezioni d'urto, con risultati di notevole interesse. Gianni non entrò personalmente in questo campo di ricerche, ma ne era affascinato, e ciò lo portò alcuni anni dopo ad affrontare problemi di fisica delle superfici tramite diffrazione di atomi neutri ottenuti con i fasci supersonici.

Si arriva così al 1968, anno della contestazione studentesca. Già nel maggio del 1967 si erano avuti episodi di protesta da parte degli studenti, per esempio ebbe luogo una "occupazione" temporanea dell'edificio di fisica con la presentazione, da parte degli studenti di fisica, di un documento su riforma universitaria, contenuti e metodi della didattica e sbocchi professionali per i neo-laureati. Erano problemi molto concreti, a cui si poteva almeno in parte cercare di dare soluzione, ma Gamba e Morpurgo erano contrari. Con l'inizio del 1968, la contestazione palesò un carattere molto più generale e investì problemi di fondo; essa acquistò un aspetto più politicizzato ed avvenne contemporaneamente in diverse università italiane ed europee. A Genova, dopo una serie di assemblee degli studenti di tutte le Facoltà, il 5 marzo fu occupato il palazzo centrale dell'Università in Via Balbi e si iniziò a discutere degli aspetti sociali dei problemi universitari. Su intervento della Procura della Repubblica, il palazzo fu sgomberato dalla polizia nella notte del 7 marzo.

L'intervento della polizia inferocì la popolazione studentesca e il Movimento studentesco cominciò a organizzare assemblee in modo attivo e ben organizzato. Il giorno 5 marzo, l'assemblea degli studenti di fisica, molto numerosa, decise anch'essa, come quella di Via Balbi, di procedere all'occupazione dell'edificio di fisica, ma in forma morbida. Fu deciso di non creare interruzioni all'attività di ricerca e di bloccare l'attività didattica solo in occasione delle assemblee. Gli studenti occupanti si organizzarono in commissioni di studio, a cui furono invitati tutti i docenti e ricercatori dell'Istituto. Il modo di procedere fu diverso da quello dell'anno precedente, perché gli studenti si organizzarono autonomamente e in contrapposizione al corpo docente. Fu in qualche modo una sorpresa, perché a Fisica gli studenti avevano sempre

trovato un ambiente aperto alla discussione, ma essi volevano di più. La grande maggioranza dei docenti, convinta dell'utilità del lavoro delle commissioni di studio, il giorno 11 marzo, decise di sospendere le lezioni per cinque giorni, allo scopo non solo di partecipare ai lavori delle commissioni, ma anche di tenere assemblee proprie per esaminare tutti i problemi universitari sul tappeto. Il documento che ne risultò fu firmato da quasi tutto il personale docente, 40 fra professori incaricati e assistenti, come pure da Borsellino e da Boato, ma ovviamente non da Gamba e Morpurgo, accaniti avversari degli studenti, e fu inviato al preside Scortecci. Le discussioni nelle commissioni studentesche avevano molti lati positivi, ma dimostravano anche l'ingenuità e la presunzione dei giovani studenti. In ogni modo l'atmosfera era di grande entusiasmo, non solo tra gli studenti, ma anche tra i docenti più giovani, che ritenevano ormai irrespirabile l'aria resa inquinata dalle iniziative dei due professori "reazionari".

Il 14 marzo giunse al Rettore e ai quattro Direttori degli Istituti una lettera della Procura della Repubblica, con oggetto "Agitazioni studentesche presso l'Istituto di Fisica", in cui i Signori Direttori degli Istituti venivano "pregati di comunicare, ciascuno sotto la propria personale responsabilità: 1) se nei rispettivi Istituti e, comunque nell'ambito dell'edificio, erano in corso e da quanto tempo fatti di "occupazione",... con atti di molestia o di sopraffazione... 2) se le lezioni universitarie, le esercitazioni e l'attività scientifica si svolgevano o no regolarmente". La lettera era grave e nello stesso tempo imbarazzante. Si può immaginare come risposero Gamba e Morpurgo. Gianni se la cavò con una lettera, scritta il 20 marzo, dove dichiarava che: "attualmente non sono in corso fatti di occupazione presso questo edificio. Le lezioni e le esercitazioni si svolgono in questa settimana regolarmente secondo gli orari consuetudinari fissati dalla Facoltà. L'attività scientifica è regolare". Evidentemente il Procuratore prese per buona questa dichiarazione, come quella analoga di Borsellino, perché non arrivò alcuna richiesta di chiarimenti. Le assemblee e le riunioni delle commissioni continuarono e furono seguite dalla richiesta alla Facoltà di risposte ben precise, che essa non si sentiva di dare. Poco fu risolto, anche per l'opposizione di Gamba e Morpurgo. Pur con molte richieste velleitarie, gli studenti riuscirono però a incidere sul modo di affrontare diversi aspetti dell'organizzazione e dell'insegnamento universitario, sia sul piano particolare del corso di laurea in fisica sia su quello generale.

Dopo le vacanze estive, i problemi sollevati dagli studenti si riproposero.

Essi incontrarono ancora la strenua opposizione di Gamba e di Morpurgo, i quali assunsero un atteggiamento sempre più provocatorio. Non solo quest'ultimi si appellarono allo slogan "Fuori la politica dall'Università", ma si misero a strappare sistematicamente tutti gli avvisi e i manifesti che gli studenti appendevano alle bacheche. Di fatto non esistevano regole sulle affissioni alle bacheche né sul controllo delle vie d'accesso all'edificio di Fisica, perché non vi era un'autorità comune che mediasse tra le esigenze o le posizioni dei quattro Direttori di Istituto. Questo problema divenne centrale, come già era stato discusso in precedenti riunioni dei docenti e degli studenti, che avevano auspicato la costituzione di un Dipartimento, organismo che però non era ancora contemplato nelle leggi universitarie.

Così nel novembre del 1968 gli studenti di fisica, dopo aver denunciato le intimidazioni dei professori Gamba e Morpurgo, deliberarono di procedere ad una occupazione dura, impedendo l'accesso all'edificio di fisica e determinando la sospensione di ogni attività scientifica, didattica ed amministrativa. I professori incaricati, ricercatori e assistenti di Fisica si riunirono anch'essi in assemblea e, dopo aver affermato l'esigenza di vita democratica per tutte le componenti universitarie e l'urgenza di creare le condizioni per un dialogo tra studenti e docenti, dichiararono che era necessario provvedere ad una direzione unitaria e democratica del "cosiddetto" Istituto di Fisica. I docenti proclamarono lo stato di agitazione finché non fossero trovate adeguate soluzioni ai problemi di cui sopra. Furono proposte soluzioni concrete al problema della direzione dell'Istituto, che ebbero certamente un peso nelle successive decisioni da parte delle autorità accademiche.

Intanto Gamba e Morpurgo denunciarono i fatti alla magistratura e chiesero l'intervento della polizia, contrastati da Boato e da Borsellino, che invocavano decisioni da parte del Rettore. La situazione era diventata infuocata e incontrollabile. Essa fu risolta dal nuovo Rettore Francesco Borlandi, che dimostrò in questa occasione le sue eccezionali qualità dirigenziali ed umane. Egli emise un decreto che intimava: *A partire da oggi 4 dicembre 1968, tutte le attività di qualsiasi genere che si svolgono presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Genova sono temporaneamente sospese.*

Questo decreto fu l'inizio di importanti conseguenze. Intanto esso non mandò tutti a casa: difatti l'Istituto di Fisica sperimentale aveva una dipendenza, sede dei laboratori degli studenti. Per accordo con Borlandi, questi locali rimasero a disposizione della comunità dei fisici, e Boato ne aveva la responsabilità. Questa situazione durò più di un mese in attesa

di successive deliberazioni rettorali. Essa era molto seria e costrinse i fisici ad un periodo di ripensamento e di tentativi di accordo, che però fallirono. Seria era anche la situazione della Sezione INFN, per la sospensione del lavoro di ricerca e per l'inattività del relativo personale.

Gianni scrisse una lettera al Rettore ed al Preside di Facoltà, facendo presenti le sue responsabilità in qualità di direttore dell'Istituto di Fisica sperimentale, che inizialmente era stato l'unico ad aver sede nell'edificio. Egli desiderava che fossero chiaramente stabiliti i locali e i servizi che rientravano sotto la sua giurisdizione. Ebbe ripetuti contatti con Borlandi e scoprì che egli aveva compreso perfettamente la situazione. Questo fu dimostrato da un successivo decreto in data 9 gennaio 1969, di cui questi sono i brani principali:

IL RETTORE

Considerata la necessità e l'urgenza di una integrale ripresa delle attività istituzionali del così detto Istituto di Fisica e delle attività di ricerca ad esso collegate,

*constatata l'impossibilità di provvedere **se non per gradi** ad assicurare al c.d. Istituto di Fisica delle strutture che garantiscano una serena convivenza*

convinto della necessità di rimuovere ogni occasione di interferenza di dissensi politici nei rapporti di lavoro o di insegnamento

DECRETA

1) A partire dalle ore 14 di oggi 9 gennaio 1969 riprendono le attività didattiche e scientifiche dell' "Istituto di Fisica".

2) Ferme restando le responsabilità scientifiche ed amministrative attualmente attribuite ai Direttori dei quattro Istituti operanti nel c.d. Istituto di Fisica, il Rettore assume temporaneamente la direzione unitaria dell'Istituto stesso.

3) Tutti coloro che operano nell'Istituto potranno tenere riunioni su temi di loro specifico interesse.

4) I locali di Viale Benedetto XV saranno esclusivamente riservati allo svolgimento delle attività didattiche e scientifiche . . . In questa sede saranno ammesse solo affissioni ufficiali recanti il visto del Rettore.

Il provvedimento era intelligente e ben congegnato, di contenuto innovatore, ed aveva tenuto conto dei desideri della stragrande maggioranza dei

docenti e del personale dell'istituto. Aveva concesso ben poca soddisfazione a Gamba e Morpurgo, che stavano perdendo anche le poche simpatie dei colleghi professori della Facoltà. Anche il Preside Scortecci aveva approvato l'azione di Borlandi. Nulla di simile ebbe luogo nelle altre sedi universitarie italiane.

L'evoluzione successiva della situazione fu piuttosto lenta, ma condusse infine alla costituzione di un unico Istituto policattedra. Purtroppo il Rettore Borlandi era gravemente ammalato e non poté condurre in porto personalmente l'azione così brillantemente iniziata. Egli lasciò la carica di Rettore e dopo alcuni mesi cessò di vivere tra il rimpianto generale. Gli succedette Carmine Alfredo Romanzi, professore di Microbiologia e persona molto stimata. Fu lui a portare a termine l'operazione. Difatti, dopo aspre discussioni in Facoltà e continue proteste degli studenti, il Consiglio di Amministrazione dell'Università, presieduto da Romanzi, decise pressoché all'unanimità, il 31 ottobre 1969, la soppressione degli Istituti di Fisica sperimentale, di Fisica superiore, di Fisica teorica e di Struttura della materia e la creazione al loro posto di un unico Istituto di Scienze Fisiche, con la direzione ancora temporaneamente affidata al Rettore.

Intanto in Istituto fervevano le discussioni sul nuovo assetto da dare alla conduzione del nuovo organismo. Alla fine, nella primavera del 1970 si arrivò alla decisione, inizialmente accettata da Gamba e Morpurgo, di costituire un Comitato di Fisica, che rappresentasse congruamente le varie categorie del personale. Questo Comitato fu riconosciuto dal Rettore, in qualità di Direttore del c.d. Istituto di fisica, e fu investito di fatto della direzione dell'Istituto. Il Comitato si adoperò subito per sistemare le questioni in sospeso, in particolare per dare una risposta alle richieste presentate reiteratamente dagli studenti. Con il parziale dissenso di Gamba e Morpurgo, si concesse agli studenti un giorno settimanale libero da lezioni ed esercitazioni per dar loro la possibilità di riunirsi in assemblea, si mise a disposizione degli studenti un quadro di affissione, un ciclostile e un telefono, e si promosse una discussione sulle questioni didattiche. Questa mossa contribuì molto a calmare le acque riguardo alle motivate richieste della componente studentesca.

Dopo ulteriori discussioni in Facoltà, il 24 luglio il Consiglio di Amministrazione dell'Università provvedeva alla nomina di Fausto Fumi a Direttore dell'Istituto di Scienze Fisiche (ISF). La nomina di Fumi ebbe decorrenza dal 1 agosto 1970 e da quella data l'ISF fu ufficialmente costituito. Gamba

e Morpurgo rifiutarono di farne parte e chiesero l'indipendenza delle loro cattedre, cosa che non fu mai ufficialmente concessa. Il Comitato di Fisica rimase in funzione in qualità di Consiglio di Istituto, in attesa che fosse preparato e approvato lo Statuto dell'ISF. Gianni partecipò molto attivamente alle discussioni e alle decisioni che si presero in merito. Lo Statuto entrò in vigore nel marzo del 1971, con norme che lo caratterizzavano come un antesignano del futuro Dipartimento. Fu stabilito che l'organo deliberante dell'ISF fosse il Consiglio di Istituto democraticamente eletto. L'ISF era diretto da un professore di ruolo nominato dal Rettore su designazione del Consiglio di Istituto, di cui convocava e presiedeva le riunioni. Il Direttore aveva la responsabilità amministrativa, provvedeva all'osservanza dello Statuto ed era garante della tutela della libertà di ricerca e di insegnamento. Finalmente la comunità dei fisici aveva un organismo democratico atto a condurre le attività istituzionali ed a gestire i complessi problemi della vita di un istituto universitario moderno. Ecco dunque un tipico esempio di come la contestazione studentesca, con la collaborazione di docenti ragionevoli, contribuì a risolvere un problema importante di vita e organizzazione universitaria.

7.16 Il Gruppo Nazionale di Struttura della Materia

Al ritorno dall'America nel 1966, Gianni riprese a dedicarsi all'organizzazione della ricerca nel campo della Fisica della Materia su scala nazionale. È necessario iniziare con una breve premessa. Già dal 1960 gruppi di ricercatori di Università diverse si erano associati per riferire sulla loro attività, discutere collegialmente dei loro programmi di ricerca, e chiedere i finanziamenti dopo un accordo preventivo. Si erano così costituiti presso diversi Istituti di Fisica che ospitavano Sezioni dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, i Gruppi di Fisica della Materia INFN-CNR, i cui programmi venivano esaminati e finanziati congiuntamente sia dall'INFN, sia dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Si trattava di gruppi di ricercatori delle sedi di Bologna, Genova, Milano, Palermo, Pisa, Roma e Torino, che chiedevano i loro finanziamenti in base ad un programma preparato di comune accordo e discusso congiuntamente. Questo modo di procedere era gradito agli enti finanziatori perché nel momento della presentazione dei programmi era già stato svolto un primo reciproco controllo sulla bontà dei programmi e

7. *Giovanni Boato*

sulla produzione scientifica. Veniva inoltre stabilito un costante rapporto e scambio di informazioni tra ricercatori che lavoravano in settori affini, con reciproco vantaggio e soddisfazione comune. Gianni contribuì personalmente a questa modalità di procedere e redasse una dettagliata relazione sull'attività svolta dai Gruppi nel triennio 1960–'63, che fu pubblicata su "La ricerca scientifica", giornale del CNR.

Nell'ottobre del 1963, in occasione del Congresso di Bari della Società Italiana di Fisica, si costituì un 'forum permanente', denominato GISM (Gruppi Italiani di Struttura della Materia), avente lo scopo di 'promuovere lo sviluppo in Italia delle ricerche di fisica atomica, molecolare e degli stati di aggregazione della materia'. Come primo presidente del GISM venne nominato Giorgio Careri. Al GISM afferirono non solo i già citati gruppi INFN–CNR, ma molti altri gruppi di ricerca che non avevano in sede universitaria l'appoggio dell'INFN. Nel novembre dello stesso anno si svolse a Roma una riunione dei responsabili dei gruppi INFN–CNR con Giovanni Polvani, allora presidente del CNR e con Edoardo Amaldi, presidente dell'INFN, dove fu raccomandato che le ricerche in struttura della materia fossero finanziate interamente dal CNR, costituendo una struttura di coordinamento adeguata, e sganciata quindi dell'INFN. Nel luglio 1964, il Comitato per la Fisica del CNR deliberava la creazione di un gruppo di lavoro con il compito di promuovere le ricerche in struttura della materia e di presentare al Comitato di Fisica programmi di ricerca e richieste coordinate di finanziamento, che furono già in quell'anno prese in considerazione dal CNR. All'inizio del 1965 il GISM ed il suo Consiglio Direttivo (Presidente: Chiarotti, e membri: Bassani, Boato, Fieschi, Giulotto, Gozzini e Giorgio Montalenti, vennero formalmente riconosciuti dal Consiglio di Presidenza del CNR e ci si avviò verso la costituzione ufficiale del GNSM (Gruppo Nazionale di Struttura della Materia). Ciò fu facilitato dalla riforma del CNR intervenuta nel 1963 e dall'approvazione del regolamento concernente il funzionamento dei suoi organi di ricerca, emesso nel gennaio del 1967. Questo regolamento contemplava l'esistenza dei Gruppi di ricerca, accanto agli Istituti, ai Laboratori e ai Centri di studio e ne definiva i compiti e le prerogative.

Dunque nel 1964 cominciò l'attività di ricerca coordinata su scala nazionale nel campo della struttura della materia. Gianni fu molto attivo nell'opera di costituzione del Gruppo, collaborando strettamente con il presidente Gianfranco Chiarotti. Si riuscì ad ottenere l'assegnazione di sei ricercatori

dislocati in diverse sedi universitarie.

Al ritorno dagli Stati Uniti nel 1966, Gianni si trovò sempre più coinvolto nei problemi dell'organizzazione nazionale della ricerca. Nel 1968, e fino al 1972, (disgraziatamente in coincidenza con la rivolta studentesca), egli subentrò a Chiarotti come Presidente del GNSM, ormai in forte crescita. Gianni e il Consiglio Scientifico del GNSM cercarono in tutti i modi di far divenire il Gruppo un organo proprio del CNR, cosa che sembrava potesse rientrare nello schema del nuovo regolamento CNR, ma questo fu fortemente ostacolato da alcuni funzionari del CNR ed in particolare dai sindacati del personale CNR, che non vedevano di buon occhio la presenza di personale CNR all'interno delle Università. Tuttavia, il 16 maggio 1969, con decreto del nuovo Presidente del CNR, il chimico Vincenzo Caglioti, il GNSM fu ufficialmente costituito come organo di ricerca del CNR, articolato in ventisette Unità di ricerca presso Istituti universitari ed altri Enti di ricerca, e in tre Laboratori a Parma, Pisa e Roma, le cui finalità e sedi erano state ampiamente discusse in seno al Gruppo. Gianni rimase Presidente del Gruppo, coadiuvato da una Giunta e da un Consiglio scientifico formalmente eletti.

Da quel momento Gianni trascorse molto del suo tempo a Roma, dove era situata la sede e la segreteria del Gruppo, avendo come segretaria la Sig.na Carla Carbone, che gli fu di molto aiuto. Ma fu chiaro che il CNR considerava solo i Laboratori come organi propri e solo in essi riconosceva la presenza di personale ricercatore, tecnico ed amministrativo. Fu dunque una dura battaglia ottenere del personale pagato dal CNR, che era necessario al GNSM per portare avanti le ricerche nelle Unità operative universitarie. Alla fine, dopo estenuanti discussioni ed infinite riunioni, Gianni riuscì ad ottenere per il Gruppo dal presidente del CNR ventuno unità di personale ricercatore e tecnico, un numero ridicolo rispetto alle esigenze delle ventisette sedi universitarie, ma grande rispetto alle aspettative. Questo personale fu formalmente assegnato ai tre Laboratori, essendo però considerato distaccato in modo permanente presso le Unità di ricerca. Fu una vittoria, ma forse una vittoria di Pirro, dato che mai più altro personale fu assegnato al Gruppo. I ricercatori e i tecnici assunti dal CNR rimasero in una situazione precaria.

Il periodo della presidenza GNSM fu per Gianni un momento molto intenso, aggravato dalla contestazione studentesca, con lunghi soggiorni a Roma, nel quasi totale abbandono delle sue attività di ricerca. Gianni non ricorda

un altro periodo così stressante nella sua vita. Fu a Roma che successero i fatti più spiacevoli con gli studenti, con professori aggrediti ed atti di violenza continui da parte di una minoranza riottosa. Eppure Gianni ricorda quel periodo come una fase costruttiva della sua vita, in cui egli diede un contributo concreto al miglioramento della qualità e quantità della ricerca nazionale nel campo della struttura della materia. Fortunatamente egli era costantemente confortato e sostenuto dai suoi colleghi di fisica in tutta Italia.

7.17 L'avvio della fisica delle superfici

Tra il 1969 e il 1971, Gianni sviluppò un sempre maggiore interesse per la fisica delle superfici cristalline, un campo che si stava sviluppando a grande velocità, per la capacità acquisita di ottenere superfici pulite tramite tecniche di altissimo vuoto e per la conoscenza ormai approfondita della struttura e delle proprietà dei solidi cristallini. Il laboratorio di Genova era avvantaggiato rispetto ad altri nel mondo da questo punto di vista, perché in tale sede si sapeva padroneggiare non solo la tecnica del vuoto, ma anche quella delle bassissime temperature al fine di rendere il vuoto sempre più spinto oltre che di studiare le proprietà degli atomi superficiali in quasi totale assenza di agitazione termica. Inoltre, come accennato in precedenza, Giacinto Scoles e i suoi diretti collaboratori avevano sviluppato la tecnica dei fasci molecolari supersonici, con cui si potevano produrre fasci intensi collimati e pressoché monocromatici, sicché era possibile indagare la struttura delle superfici ordinate mediante fenomeni di diffrazione. Questa strada era stata iniziata da Otto Stern in Germania all'inizio degli anni Trenta, dopo aver scoperto nel 1929 che le particelle atomiche potevano essere diffratte dai reticoli cristallini superficiali, a causa della loro natura ondulatoria. Quasi nessuno si era cimentato nel ripetere le esperienze di Stern, anche perché pochi disponevano contemporaneamente di fasci supersonici, alti vuoti e bassissime temperature, come a Genova. Il gruppo si dedicò pertanto a migliorare le tecniche necessarie e a progettare un apparecchio che fosse in grado di rivelare i deboli picchi di diffrazione previsti dalla teoria. Scoles fu di grande aiuto con la messa in opera del suo bolometro rivelatore di particelle neutre e per la sua abilità nel costruire apparecchi muniti di sorgenti supersoniche. Paolo Cantini, Rudy Tatarek e l'italo-americano Mark Cardillo, ospite a Genova per un anno provenen-

do dai Laboratori Bell, furono di molto aiuto nel costruire l'apparecchio. Genova era dunque preparata per affrontare le esperienze di diffrazione da superfici. Si esporrà questo argomento nel prossimo capitolo.

7.18 Diffrazione di elio

Gli anni 1971 e 1972 furono dedicati alla costruzione di un apparecchio per la diffrazione degli atomi di elio da superfici cristalline. Giacinto Scoles, che aveva dato importanti spunti iniziali, era da qualche anno in Canada, dove aveva ottenuto una cattedra di Chimica e Fisica all'Università di Waterloo (Ontario) e non fu coinvolto nella ricerca, anche se ne iniziò una analoga a Waterloo. La sorgente supersonica di atomi di elio (ma anche di idrogeno e neon) funzionava a varie energie, fino alle temperature dell'azoto liquido. Il rivelatore di atomi neutri era un bolometro semiconduttore al silicio, sviluppato da Scoles, Manfredo Cavallini e Gallinaro, che funzionava a pochi gradi kelvin. Siccome occorre l'elio liquido per il suo raffreddamento, lo stesso liquido fu utilizzato per migliorare il vuoto nella camera contenente la superficie cristallina in esame, senza aver bisogno di servirsi di una camera di acciaio inossidabile come quelle al tempo utilizzate per studiare le superfici. Non vi era alcun interesse a fare misure a temperatura ambiente, anzi una superficie fredda andava benissimo per eliminare l'effetto dell'agitazione termica e non avere diminuzioni dell'intensità del fascio diffratto a causa del cosiddetto fattore di Debye-Waller. La superficie iniziale fu quella, ottenuta per sfaldatura, di un cristallo di fluoruro di litio, la stessa usata da Stern negli anni Trenta.

L'apparecchio fu pronto all'inizio del 1973. Esso si dimostrò completamente all'altezza delle aspettative e nel volgere di pochi mesi consentì a Paolo Cantini ed a Gianni Boato, in collaborazione con Rudy Tatarek e Renzo Mattera, di determinare lo spettro di diffrazione dell'elio e del neon da parte della faccia (001) del fluoruro di litio, a vari angoli di incidenza. Lo spettro mostrò un'inaspettata distribuzione e una notevole ampiezza dell'intensità dei picchi diffratti, dovuta all'ondulazione della superficie a livello atomico. Andrea Levi, con la collaborazione di Ubaldo Garibaldi, Renato Spadacini e Giuliana Tommei, intuì subito che a questo effetto era dovuta la forma dello spettro, che egli battezzò "arcobaleno di superficie", e scoprì che la teoria era già stata elaborata da Lord Rayleigh per la diffrazione della luce da superfici riflettenti ondulate. Eseguiti i calcoli, fu trovato un perfetto

accordo tra i dati sperimentali e la teoria, con una perfettamente ragionevole ampiezza di ondulazione della superficie. La ricerca ebbe il nome di “Diffraction and rainbow in the scattering of atoms by crystal surfaces”, pubblicata in *Journal of Chemical Physics*. Furono giorni di grande entusiasmo: il gruppo di Genova aveva a disposizione una tecnica nuova per l’indagine della struttura delle superfici. E vi erano grandi possibilità di ricerca sperimentale d’avanguardia! La parte sperimentale delle prime misure fu pubblicata da Boato, Cantini e Mattera su *Surface Science* con il titolo “A study of the (001) face of LiF at 80° K by means of diffractive scattering of He and Ne at thermal energies” [47].

Anche i tempi dell’esperimento furono azzeccati. Difatti nel luglio del 1973 era stato organizzato dalla SIF, per iniziativa di Giacinto Scoles e di Giorgio Benedek e sotto la direzione di Frank Goodman, un corso alla Scuola Internazionale di Varenna “Enrico Fermi”, che riguardava gli aspetti dinamici della fisica delle superfici. Ad esso avevano aderito molti dei maggiori esponenti delle tecniche e della teoria dello scattering e della diffrazione superficiale di particelle (tra di loro Cabrera, Duke, Schrieffer e Celli). Fu un corso molto utile come aggiornamento sui risultati degli esperimenti e della teoria sull’interazione tra elettroni, atomi e ioni da una parte e le superfici cristalline dall’altra. Esso risultò per il gruppo di Genova il trampolino di lancio per affermarsi in campo internazionale sugli diffrazione atomo-superficie. Il nostro lavoro fu oggetto di uno speciale seminario ed ebbe notevole successo; esso fu ascoltato con ammirazione da tutti.

7.19 Viaggio in Giappone

Tra il 1973 e il 1979, Cantini e Boato, con la collaborazione di Mattera, Tatarek, Felcher e Colella, eseguirono una lunga serie di esperimenti sulla diffrazione di atomi e molecole da parte di diverse superfici. Notevoli furono gli esperimenti con idrogeno molecolare, che dimostrarono l’effetto della rotazione della molecola, quelli con l’elio sull’argento, che confermarono la piccola rugosità delle superfici metalliche, e quelli, ancora con l’elio, sui cristalli lamellari che misero in evidenza le onde di densità di carica. Particolare interesse suscitò l’esperimento condotto sulle risonanze di stato legato nello scattering di elio da cristalli di grafite, che permise una determinazione estremamente accurata del potenziale di interazione tra l’elio e la faccia di sfaldatura della grafite, in accordo con le misure di David

Goodstein su effetti termodinamici. La prima notizia fu data con una lettera a *Physical Review Letters* dal titolo “A study of gas-graphite potential by means of atom diffraction” [52], seguita da altri due articoli. In quel periodo, Gianni fu coinvolto in molti congressi e scuole internazionali, dove ebbe l’opportunità di esporre i risultati sperimentali di Genova e di tenere lezioni sull’interazione atomo–superficie.

Il primo grande congresso internazionale a cui Gianni, insieme ad Andrea Levi, partecipò, fu la seconda Conferenza sulle Superfici Solide, che si tenne a Kyoto a fine marzo del 1974. La conferenza fu di ottimo livello, presenziata da fisici di notevole qualità, e fu una buona opportunità per far conoscere il lavoro e le potenzialità del gruppo di Genova. Ma fu per Gianni anche l’occasione di visitare l’Estremo Oriente, che non conosceva – la cosa non si ripeté più. Gianni si dedicò a questo viaggio con grande entusiasmo e determinazione. Prese un volo della compagnia aerea giapponese JAL, che in quel momento offriva notevoli facilitazioni per ragioni propagandistiche. Il programma di viaggio gli consentiva di rimanere in Giappone per una quindicina di giorni, alloggiando nei migliori alberghi. Facevano parte del piccolo gruppo turistico cui Gianni era stato aggregato sia Andrea Levi sia i coniugi Rimini di Catania. Il volo seguì una rotta polare, con una sosta in Alaska. Lo sbarco avvenne a Tokyo e l’alloggio era al Takanawa Prince Hotel, dotato di quattro ristoranti e di un magnifico giardino alla giapponese. Il Takanawa Prince era situato nel centro della città e costruito per essere ben protetto da ogni tipo di rumori molesti. La partenza per Kyoto avvenne dopo una settimana a bordo del celebre treno super–veloce Shin–kansen. Kyoto è certamente la più interessante città del Giappone non solo per la bella posizione in mezzo alle colline che la circondano, ma soprattutto per la quantità di templi e belle ville, che costituiscono un insieme armonioso di padiglioni situati tra deliziosi boschetti, aiuole, ruscelli e piccoli laghi, che Gianni andò in parte a visitare. Con una gita organizzata dal Congresso, egli andò a visitare Nara, una dei celebri luoghi sacri del buddismo giapponese. Egli vide il tempio Todai–ji, che contiene la più grande statua in bronzo di Buddha esistente al mondo, il Buddha della grande illuminazione. Ma ciò che lo colpì di più fu il tempio di Horyu–ji, costruito nel 700 dopo Cristo, formato di molti edifici di culto e pagode di bellissimo effetto. La conferenza sulle superfici si tenne presso la Kyoto International Conference Hall, un complesso di edifici con tutte le comodità, recentemente costruito alla periferia della città. La conferenza fu molto stimolante e fece conoscere

a Gianni alcuni scienziati giapponesi. La comunicazione sugli esperimenti di diffrazione fu accolta con interesse, anche per la novità dell'argomento. Gianni tornò a Tokyo con Andrea Levi, alloggiando nello stesso albergo dell'andata. A Tokyo essi visitarono la storica strada Asakusa, il quartiere di Ginza, il Museo Nazionale, ed il parco Ueno. E qui ci fu l'avventura finale! Nel primo mattino del giorno della partenza, Gianni si svegliò con una strana sensazione di disagio nel battito cardiaco. Dopo alcuni minuti si rese conto che c'era qualcosa che non andava. Egli telefonò ad Andrea ed questi arrivò subito ancora mezzo addormentato; si chinò sul petto di Gianni, col suo barbone che gli faceva il solletico, e, dopo un minuto d'ascolto, disse: "Sì, il tuo cuore non batte in modo regolare. Sarebbe bene che tu chiamassi un medico". Mancava poco più di un'ora alla partenza e Gianni cominciò a preoccuparsi. Il medico, un giapponese molto gentile che parlava perfettamente l'inglese, dopo attenta auscultazione, disse che era presente una forte aritmia cardiaca e che era opportuno il ricovero in ospedale per ulteriori accertamenti e il rinvio della partenza. Non c'erano alternative: Gianni avvertì della sua infermità le altre persone del gruppo e la JAL e si recò a piedi all'ospedale, che si trovava lì vicino; Andrea lo accompagnò, assicurandolo che avrebbe rinviato anche lui la partenza per fargli compagnia. Fu la dimostrazione, se ce n'era bisogno, della sincera amicizia che legava Gianni ed Andrea. Quando arrivò all'ospedale, in tutto e per tutto giapponese, particolarmente nel senso che ben pochi sapevano parlare e comprendere l'inglese, Gianni ebbe un attimo di disperazione. Ma quasi subito si sentì chiamare: era un'infermiera che gli portava una notizia meravigliosa. Il medico dell'albergo gli aveva trovato posto nell'unico ospedale cattolico della città, quotato ed accogliente. Qui, dopo i primi esami, gli dissero subito di non preoccuparsi, trattandosi solo di un attacco di fibrillazione atriale parossistica, aggiungendo che erano necessari alcuni giorni di ricovero per accertamenti. La diagnosi era corretta e con una dose di calmanti e un trattamento a base di digitale, il cuore di Gianni ritornò rapidamente normale. L'attacco era stato dovuto ad un eccesso di stress, causato da fatica sproporzionata, carenza di sonno (avevo dormito pochissimo), ed agitazione nervosa. Gianni fu assistito amorevolmente. Venne a trovarlo una suora italiana che prestava servizio nell'ospedale e che lo fornì di libri e riviste italiane, oltre che di umano conforto. C'era poi Andrea che andava regolarmente a trovarlo. Egli non poteva chiedere di meglio! Dopo circa quattro giorni gli fu detto che poteva essere dimesso,

e che avrebbe potuto partire entro qualche giorno. La compagnia JAL lo informò che non avrebbe dovuto pagare un supplemento per il costo del viaggio, data la malattia; lo stesso accadde per Andrea, dopo aver ottenuto dal medico giapponese un'attestazione che era stato colpito da influenza. Tanta cortesia era dovuta al fatto che la compagnia aerea era in una fase di incoraggiamento per il turismo straniero in Giappone e che l'ospitalità faceva parte dello stile di vita orientale. Il tragitto del viaggio di ritorno trascorse senza problemi. Punin, che aspettava Gianni a Genova molto preoccupata, si rese conto subito che il disturbo cardiaco non aveva portato conseguenze, cosa che fu confermata da una visita cardiologica.

Come conseguenza delle ricerche sulla diffrazione di atomi da parte delle superfici, Gianni partecipò a molti congressi, tra cui il simposio di Gottinga sulla "Rarefied Gas Dynamics", centrato sui fasci molecolari supersonici e sulle loro applicazioni, e la terza Conferenza Internazionale sulle superfici solide, che si tenne a Vienna nel 1977. Andò anche a tenere corsi in due scuole di carattere internazionale. Una prima scuola si tenne nel 1975 a Casamari, presso l'omonima abbazia cistercense, con la denominazione di "Scuola Estiva Mediterranea sugli stati di superficie e sul legame chimico", frequentata solo da francesi, spagnoli ed italiani. Molto simpatica fu la "Scuola sulla fisica delle superfici" organizzata da Nicolas Cabrera nel 1976 per giovani fisici europei. Si svolse a Santander, nel nord della Spagna e Gianni vi si recò con Punin. La scuola si tenne nel Palazzo della Magdalena, una magnifica villa di proprietà del re. Egli si divertì e fu soddisfatto delle lezioni e dell'eccezionale ospitalità.

Dopo la costituzione dell'Istituto di Scienze Fisiche, la vita in istituto riprese con un ritmo normale e non più disturbata da occupazioni studentesche, né dalle follie di Gamba e Morpurgo. Tuttavia la vita in comune non era facile, visto anche il crescente numero del personale docente e la ristrettezza dei locali. Tra l'altro lo Statuto dell'ISF, sebbene ripetutamente discusso, non era ancora stato ufficialmente approvato. La comunità era minacciata da una seria crisi disgregativa per una quantità di ragioni: faciloneria nell'affrontare i problemi, poca responsabilità, strumentalizzazione delle difficoltà da parte di una minoranza che voleva vedere in strutture di tipo assembleare la soluzione miracolistica di tutti i problemi.

Come direttore dell'Istituto nel 1974 Gianni propose alcuni possibili metodi di cura tra cui: una maggiore responsabilizzazione dei docenti anziani, la modifica dello Statuto ISF alla luce dei provvedimenti urgenti per l'Uni-

versità e il rilancio di una ricerca più attiva nell'ISF, indipendentemente da quella gestita dagli enti. Si trattò di una ramanzina piuttosto severa, che ebbe qualche effetto, ma non risolse gran che dei problemi sul tappeto. Si tirò avanti, con la speranza di poter avere presto una sede nuova, più grande e razionale, e di riuscire prima o poi a organizzare la comunità dei fisici in un vero Dipartimento, come successe una decina di anni più tardi.

7.20 La nuova Sede dell'Istituto di Fisica

Alla fine del Congresso sui fasci molecolari che si tenne a Riva del Garda nell'autunno del 1979, Gianni soffrì di un nuovo episodio di fibrillazione atriale parossistica. Ne fu causa nuovamente un periodo di intenso lavoro, anche se molto gratificante, ma che comportò una eccessiva tensione nervosa.

Gianni decise di prendere un anno di congedo fuori sede durante l'Anno Accademico 1979-'80. Scelse come sede l'Università di Luminy (Marsiglia), dove conosceva bene il professor Michel Bienfait, specialista delle superfici e dei fenomeni della loro crescita. Contava di iniziare un lavoro sperimentale un po' diverso, basato sullo scattering degli elettroni. Ebbe un posto di professore visitatore. Si mise al lavoro e, dopo un mese di orientamento, individuò un problema che aveva un potenziale interesse: il passaggio dall'ordine al disordine di una superficie metallica ricoperta di molecole di gas rari. Michel ne fu interessato e decise di assegnare l'argomento come tesi di terzo ciclo allo studente Maurice Jaubert. I campioni erano disponibili, ma ci volle un tempo abbastanza lungo per mettere a punto l'apparecchio. Fu a questo punto che Gianni cominciò a soffrire di depressione e solitudine. Egli non era completamente a posto e fu colto da sempre più frequenti malori, così che un bel giorno, verso aprile-maggio del 1980, prese la decisione di tornare a Genova anticipatamente. Fu una decisione sbagliata e Gianni ne pagò le conseguenze, perché a Genova non migliorò. Fortunatamente, l'esperimento di Marsiglia ebbe una perfetta riuscita, rivelando una nuova transizione di fase superficiale e consentendo la pubblicazione di due articoli al riguardo, l'ultimo dei quali ebbe il titolo "Monolayer adsorption of Kr and Xe on metal surfaces: structures and uniaxial phase transitions on Cu (110)" [61], pubblicato da Jaubert, Glachant, Bienfait e Boato su *Surface Science*.

Dopo qualche mese Gianni riprese il lavoro con Cantini, effettuando misure

sullo scattering anelastico di elio da cristalli di grafite, e confrontando il fattore di Debye-Waller sperimentale con un modello teorico, e scrisse un lavoro di rassegna con Cantini su “Diffraction of atoms and molecules from crystalline surfaces” su *Advances in Electronics and Electron Physics*. Ma qui il lavoro sperimentale sulle superfici subì una battuta d’arresto, tanto più che il tedesco Toennies aveva effettuato le prime misure della curva di dispersione dei fononi superficiali, ricerca che da qualche tempo Gianni aveva pensato di mettere in cantiere.

Purtroppo Gianni, nell’autunno del 1981, cominciò a soffrire di aritmie cardiache, con fenomeni di tachicardia e di molto frequenti extrasistole, accompagnate ancora da depressione e ansia. Passavano i mesi e stava sempre peggio, era dimagrito di cinque o sei chili, dormiva malissimo, aveva disturbi colitici, e i fenomeni di aritmia lo facevano sentire irrimediabilmente malato. Gianni andò a farsi visitare da Carlo Loeb, il direttore della clinica neurologica, il quale gli disse che l’ottanta per cento dei suoi disturbi erano di carattere nervoso e ansioso e che era necessaria una energica cura. Essa risultò indovinata, perché in due o tre mesi Gianni aveva recuperato le forze. Nell’autunno del 1982 egli stava nettamente meglio. Il cardiologo gli confermò che il cuore ormai si trovava in uno stato di fibrillazione atriale permanente e che era opportuno che rimanesse in quello stato, che avrebbe potuto continuare per tutta la vita. Bastava tenere il cuore sotto saltuario controllo, ma non c’era alcun disturbo organico, tanto più che la pressione era bassa. Ebbe completamente ragione perché ancora adesso Gianni si trova in questo stato, senza più prendere medicinali. Poco per volta egli riprese una vita normale, ma il contraccolpo fu duraturo.

Nel frattempo si era andato completando il nuovo edificio di Fisica in Valletta Puggia. Parecchi anni prima Gianni aveva partecipato ad alcune fasi della progettazione, andando saltuariamente nello studio degli architetti Badano, Calza e Semino per fornire consulenze e dati riguardanti il numero dei docenti e degli studenti e la loro probabile crescita nel corso degli anni e per dare indicazioni sulla consistenza delle officine, dei laboratori didattici e di ricerca e degli studi. Nella primavera del 1983 l’edificio era quasi pronto ed Gianni andò più volte a visitarlo. Finalmente lo spazio era abbondante, vi era una quantità di studi singoli e doppi, belle aule e spaziosi laboratori.

Si decise – a quel tempo era direttore Borsellino – di iniziare il trasloco durante l’estate e fu una decisione saggia e coraggiosa, perché i tempi furono abbreviati e nell’inverno l’installazione in Valletta Puggia era terminata. Il

problema più grosso fu l'installazione dei laboratori di ricerca, specialmente quello di fisica della materia, che necessitava di impianti fissi per il vuoto e per il ricupero dell'elio dai criostati a basse temperature. In effetti, fu necessario più di un anno per avere gli apparecchi di nuovo funzionanti, con una sospensione totale dell'attività di ricerca sperimentale. Qui Gianni commise un errore. L'apparecchio con cui lui e Cantini avevano eseguito tante belle ricerche sulla diffrazione dell'elio da parte delle superfici sembrava obsoleto. Cantini non aveva voglia di ripristinarlo e Gianni non si oppose all'idea di eliminarlo e di sostituirlo con un nuovo apparecchio ma ebbe torto: non solo perché esso poteva ancora essere in grado di fornire nuove ed ottime misure – come dimostrò l'apparecchio gemello che possedeva Giacinto Scoles a Princeton – ma anche perché Cantini ed Boato diventarono dipendenti di apparecchi costruiti da altri, come lo stesso Cantini dovette poi ammettere. Una bella opportunità di fare ancora ricerca indipendente andò perduta, e Gianni non trovò la forza di iniziare qualcosa di nuovo (era ancora condizionato dal recente esaurimento nervoso).

Una volta terminato il trasloco nel nuovo edificio, era naturale provvedere a costituire ufficialmente il Dipartimento di Fisica, come era previsto dalla nuova legge universitaria. Il Dipartimento nasceva come naturale evoluzione dell'Istituto di Scienze Fisiche e prometteva di diventare una struttura efficiente e gradevole per tutti. Anzitutto c'era una abbondanza di spazi mai sognata prima e di questa se ne avvantaggiavano da una parte gli studenti (che acquistavano spazi a loro riservati), dall'altra principalmente i laboratori di ricerca e le officine. Anche i docenti godettero di maggiori spazi, con un certo numero di studi singoli ed una grande superficie per la biblioteca. Il Dipartimento entrò in vigore il 1° aprile 1984, ebbe subito un direttore amministrativo e poté così godere di una gestione autonoma, con notevole diminuzione delle pratiche burocratiche ed una maggiore rapidità nell'utilizzo dei fondi. Il primo direttore del Dipartimento fu Enrico Beltrametti, che l'anno seguente fu sostituito da Carlo Becchi.

Nello stesso anno 1984 venne istituita la Scuola di Dottorato in Fisica, che provocò, almeno inizialmente, un notevole salto di qualità per i neo-laureati che ambivano inserirsi nell'Università e negli Enti di ricerca ad essa associati. Notevolmente importanti furono i corsi avanzati offerti dalla Scuola, ma essenziale fu l'attività di ricerca dei dottorandi, che dopo tre anni doveva concretarsi in una tesi di dottorato, corredata da pubblicazioni originali. Mentre, specialmente nei primi anni, vi fu un discreto assorbimento di Dot-

tori di Ricerca nell'Università e negli Enti pubblici di ricerca, l'industria si mostrò quasi insensibile alla nuova figura di laureato. A differenza degli Stati Uniti e di qualche nazione europea, in Italia l'innovazione tecnologica era – e rimane tuttora – un campo completamente trascurato. Della Scuola di Dottorato Gianni fu direttore nel triennio 1987–'90.

7.21 Il Museo di Fisica

In occasione del trasloco si verificò un fatto che influenzò fortemente l'attività futura di ricerca di Gianni. Essendosi assunto la responsabilità del trasferimento degli antichi apparecchi ottocenteschi che erano conservati nei vecchi armadi dell'aula magna e nelle soffitte, Gianni si rese conto della qualità e del buono stato di conservazione della gran parte di essi. Erano gli strumenti che erano stati utilizzati a partire dalla costituzione del Gabinetto di Fisica nel 1794, per eseguire esperienze in aula e in laboratorio nello spirito di rinnovamento della didattica motivato dal forte interesse ottocentesco per la ricerca sperimentale e dal contemporaneo sviluppo della fisica classica, creatosi sulla scia della rivoluzione industriale. Ciò condusse da una parte alla rivalutazione delle misure sperimentali e dall'altra al perfezionamento del lavoro tecnico e manuale. L'insegnamento della fisica nell'Ottocento e nel primo Novecento fu perciò condizionato da questi interessi. Questa tendenza era comune in tutta l'Europa e gli apparecchi conservati nel Dipartimento mostravano questa realtà, provenendo da molti Paesi, quali l'Inghilterra, la Francia e la Germania, pochi dall'Italia. I precedenti professori genovesi di fisica sperimentale erano riusciti a procurarsi i fondi per acquistare strumenti di alta qualità, prodotti da vari costruttori stranieri e italiani. Vi era dunque un patrimonio da conservare e da valorizzare, anche per il suo notevole interesse storico. Per una fortunata circostanza, proprio in quegli anni si era sviluppato in diverse Università italiane l'interesse per la vecchia strumentazione, a cura di fisici che si erano dedicati allo studio della Storia della fisica e che si erano raccolti in un Gruppo Nazionale finanziato dal CNR. Vi erano dunque a disposizione anche finanziamenti per sopperire alle spese della catalogazione e della conservazione degli strumenti.

Con l'appoggio di Borsellino e di qualche altro fisico (non molti erano sollecitati da questi motivi culturali), Gianni intraprese una prima classificazione e pre-catalogazione degli strumenti, con l'aiuto di alcuni insegnanti

delle scuole secondarie. Già maturava l'idea di costituire un Museo di Fisica per una migliore conservazione e valorizzazione di questo importante patrimonio, idea che si concretizzò negli anni successivi. Da quel momento Gianni prese interesse per la Storia della fisica, argomento che lo aveva già affascinato nel passato, ma che non aveva mai avuto il tempo di coltivare, preso completamente come era stato da una ricerca innovativa proiettata nel futuro. Nel 1986, Gianni assegnò una tesi di storia della fisica alla sign.ª Natalia Moro, in relazione alla scoperta del diamagnetismo dei gas effettuata a Genova dal professor Michele Alberto Bancalari a metà dell'Ottocento, come prosecuzione delle famose ricerche di Faraday sulle proprietà magnetiche della materia. La problematica del magnetismo della materia e la sua interpretazione ottocentesca diede l'occasione a Gianni di leggere criticamente le pubblicazioni di Faraday e di commentare il problema dell'interpretazione atomico-molecolare, visto con diffidenza da Faraday ma sostenuto da Bancalari. Ne risultò più tardi un lavoro interessante, che fu pubblicato su *Annals of Science*. Mentre maturava l'interesse per il Museo e per i problemi di storia della fisica, Gianni decise di prendere un secondo congedo dall'insegnamento. Ciò avvenne nell'anno accademico 1985-'86, durante il quale Gianni si dedicò principalmente alla stesura di un testo di *Termodinamica*, che costituiva lo sviluppo e il completamento delle lezioni di termodinamica che aveva scritto nel 1958. Una ragione aggiuntiva per la scrittura del libro fu il suo passaggio, nell'anno accademico 1986-'87 dalla cattedra di Fisica I a quella di Fisica II, a cui era devoluto l'insegnamento della termodinamica sia nella Facoltà di Scienze sia in quella di Ingegneria. L'articolazione che Gianni aveva in mente per il libro era di separare nettamente la trattazione classica da quella statistico-molecolare, affrontando con gradualità la materia, anche per consentire al docente e allo studente di operare la suddivisione più gradita e di giungere allo stato di avanzamento desiderato. Gianni pensa di aver raggiunto questo scopo nella stesura del libro, che fu lodato e riscosse un discreto successo. Purtroppo però l'insegnamento della termodinamica al secondo anno non prese piede ed il libro fu adottato solo in poche università. Rimane comunque il fatto che esso, con il titolo *Termodinamica. Introduzione alla termodinamica classica ad alla fisica statistica* [83], resta l'unico testo italiano sull'argomento.

7.22 La storia della fisica

La salute di Gianni fu negli anni dal 1990 al 2003 piuttosto buona, con qualche alto e basso. I disturbi cardiaci si erano ormai stabilizzati, egli subì l'operazione di prostata e di cataratta ma non era soddisfatto psicologicamente. L'abbandono quasi completo della ricerca sperimentale gli provocò fenomeni di leggera depressione, anche se non ebbe ricadute della malattia del 1981-'82. La classificazione dei vecchi strumenti e la ricerca storica ad essi relativa gli diede molto lavoro e lo divertì.

Era stato deciso dal Dipartimento di costituire ufficialmente il Museo di Fisica, di dargli una sede e sale di esposizione e di preparare un catalogo illustrato ad uso degli interessati e degli eventuali visitatori. Le numerose bacheche del Museo furono ospitate nei locali dei due grandi atri al 7^{mo} piano del dipartimento, prospicienti le entrate degli studi dei docenti, allestendo un notevole numero di teche dove gli apparecchi più significativi costruiti tra la fine del Settecento e l'inizio del Novecento erano alloggiati, muniti di cartelli esplicativi. Il Museo fu inaugurato nella primavera del 1991, in occasione della prima Settimana della Cultura Scientifica, indetta annualmente dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica. Nel frattempo fu preparato un catalogo a colori, edito nel 1993 dalla casa editrice SAGEP, che risultò molto ben riuscito. Il catalogo, avente il titolo *Strumenti nella Fisica dell'Ottocento* [85] fu distribuito in mezza Italia e risultò qualcosa a mezza strada tra un tipico catalogo e una rassegna ragionata storico-scientifica dei principali strumenti ottocenteschi. All'allestimento del Museo ed alla compilazione del catalogo contribuirono, sia con la manualità sia con la competenza, oltre a Giuseppe Bruzzaniti, coautore del catalogo, molti docenti di scuola media superiore ed esperti nel settore, tra cui ricordo con gratitudine Franca Acerenza, Paolo Brenni, Nadia Robotti, Biagio Spessa, Elio Vallebona e Alessandro Paoletti. Il Museo è stato visitato da molte scolaresche e da un limitato numero di privati, essendo i locali normalmente chiusi al pubblico. Visitatori perenni sono gli studenti del corso di laurea in Fisica. C'è da sperare che dal museo essi abbiano imparato a capire come si è sviluppata nel tempo la fisica sperimentale, almeno fino ai primi anni del Novecento.

Gianni andò fuori ruolo anticipatamente, nel 1991, perché si stancava troppo a fare lezione e voleva godere di maggior libertà negli anni della terza età. Continuava però a fare lezione alla Scuola di perfezionamento in Fisica dei Materiali e alla Scuola di Dottorato. Egli decise di dedicarsi per una

7. Giovanni Boato

buona parte del suo tempo alla ricerca in Storia della Fisica. Scrisse un lavoro dettagliato sulla scoperta di Bancalari del diamagnetismo nei gas (una parte della tesi di Natalia Moro), corredandola con notizie sull'opera di Faraday a questo riguardo ed in merito alle proprietà magnetiche della materia, che fu accettato dagli *Annals of Science* (1994). Scrisse anche un lungo lavoro su atomi, molecole e costituzione dei corpi come concepiti nel primo Ottocento, soffermandosi particolarmente sui contributi di Avogadro e di Ampère, la cui lettura dei lavori originali lo interessò e divertì moltissimo. Ne risultò un articolo interessante, che fu pubblicato sul *Giornale di Fisica* del 1996.

Nel periodo 1987-'90 Gianni fu nominato direttore della Scuola di Dottorato in Fisica, nomina che gli portò una notevole quantità di lavoro, sia per l'organizzazione dei corsi, sia per le lezioni e per gli esami, oltre al coordinamento delle tesi di dottorato. Conseguirono il dottorato in quel periodo alcuni studenti molto in gamba che trovarono impiego nel Dipartimento. Le tesi sperimentali fornirono un buon contributo allo sviluppo del laboratorio di ricerca in fisica della materia.

Arrivò inaspettata la triste estate del 1994. Il soggiorno in montagna passò normalmente, con le solite belle camminate in compagnia dei Careri. Ma quando i Boato tornarono a Camogli, Punin si ammalò e una notte, alla fine di agosto, Punin svegliò Gianni dicendogli di avere forti difficoltà respiratorie, che ad un rapido esame sembrarono piuttosto serie. Punin fu accompagnata all'Ospedale e fu scoperto che c'era una massa tumorale dietro lo sterno, che aveva leso la trachea, provocando le difficoltà respiratorie. Si capì subito che le cure per quella situazione erano pressoché inservibili. Punin si rese conto benissimo della situazione. Sottoposta ad un trattamento continuo con ossigeno, parlava a stento e faticava sempre di più con la respirazione. Infine si rifiutò di mangiare e in pochi giorni terminò abbastanza serenamente la sua vita terrena. Era il 12 di settembre. Gianni era distrutto, consolandosi solo con il fatto che Punin aveva sofferto poco. La sua vita sarebbe cambiata completamente e non sapeva bene in che modo.

I mesi successivi passarono quasi come un sogno. Gianni non si rendeva bene conto della nuova situazione. Frequentava il Dipartimento, ma senza un impegno preciso, né con qualche ricerca da progettare. Per fortuna fu preso dall'organizzazione di un Seminario sulla strumentazione fisica in Liguria, organizzato dall'Università, e dalla Regione e Provincia, che si svolse con una mostra e alcune conferenze al Museo Civico di Storia Naturale nel-

l'ambito della V Settimana della Cultura scientifica. Ne risultò un libretto illustrato che conteneva gli Atti del Seminario, a cui contribuirono anche persone di altre Università. Intanto Gianni aveva cominciato a progettare nuovi lavori di Storia della fisica.

Il primo novembre 1996 Gianni andò definitivamente in pensione, ma fortunatamente poté conservare il suo studio nel Dipartimento (cosa che dura ancor oggi, anno 2005), concessione che gli fu di molto aiuto, perché, oltre a discutere con i colleghi, aveva la possibilità di conservare e consultare le sue numerose carte e principalmente quella di frequentare la biblioteca. Nel 1997 fu nominato professore emerito, carica di tipo essenzialmente onorifico. Continuò a insegnare nella scuola di specializzazione di Scienza e Tecnologia dei materiali per qualche anno e rimase membro dell'INFM; tenne una serie di lezioni alla scuola per la terza età a Rapallo, trattando di alcuni argomenti di fisica classica e principalmente delle loro applicazioni tecnologiche. Dal 1993 al 1999 fu membro del Comitato Regionale dei Beni Culturali della Liguria. Imparò molte cose sulla conservazione dei beni culturali e fece una strenua difesa dei beni culturali scientifici, che sono purtroppo considerati dai cosiddetti esperti oggetti di seconda classe.

In ogni modo l'istituzione del Museo di fisica provocò un deciso sviluppo dell'interesse di Genova sull'argomento dei beni culturali scientifici, ed stimolò la creazione di alcuni altri musei di strumenti e di materiali di natura scientifica, il più interessante dei quali è quello di Chimica (l'Università di Genova ha avuto a metà Ottocento come professore di chimica generale Stanislao Cannizzaro, proprio nel momento della sua maggiore creatività e notorietà). Insieme alla dottoressa Budicin, Gianni redasse un catalogo completo di tipo informatico, che classifica e descrive tutti gli strumenti di interesse storico in possesso del Dipartimento di Fisica. Attualmente Alessandro Paoletti, un tecnico laureato, ha assunto il posto di conservatore del museo ed ha contribuito ad ampliarlo.

Ultimamente Gianni ha continuato a occuparsi di Storia della Fisica e a scrivere articoli su vari argomenti, rimanendo molto in contatto con Nadia Robotti. Ha svolto ancora un po' di ricerca in laboratorio e ha scritto un lungo lavoro sulle ricerche di fisica da lui svolte in passato. Infatti con Gian Gualberto Volpi, uno dei suoi primi collaboratori romani, ora professore di Chimica Generale a Perugia, ha accettato l'invito di scrivere un articolo di rassegna in comune sulla rivista americana *Annual Review of Physical Chemistry*, anno 1999, avente un titolo che si spiega da solo: "Experimen-

ts on the Dynamics of Molecular Processes: A Chronicle of Fifty Years” [63]. Vi si racconta in particolare come è nata in Italia, dopo la seconda guerra mondiale, la ricerca sperimentale in dinamica chimica e fisica molecolare svolta su semplici sistemi, trattando la spettrometria di massa, gli effetti isotopici, la tecnica dei fasci molecolari, alcuni problemi di cinetica chimica e vari fenomeni di interazione molecola–molecola, molecola–ione e molecola–superficie.

Il 1998 è stato certamente l’anno più bello e interessante che Gianni abbia passato in questi anni della terza età, per non dire vecchiaia. Il primo evento è stato il ricevuto conferimento del diploma e della medaglia d’oro come “Benemerito della Scienza e della Cultura” da parte del Presidente della Repubblica Oscar Luigi Scalfaro e del Ministro dell’Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica Luigi Berlinguer. Il diploma e la medaglia furono consegnati a Gianni il 25 Luglio nell’Aula Magna del Dipartimento da parte di Carlo Rizzuto, allora Presidente dell’INFM. Il secondo evento, molto importante, fu che Gianni riuscì, in collaborazione con Cantini, Mattera e Canepa, a concludere un bel lavoro scientifico sullo stato superficiale del sistema rame–oro, che è stato pubblicato su “Physical Review Letters”. È stato il suo ultimo articolo scientifico originale. Come ulteriore avvenimento, Gianni prese la decisione di andare negli Stati Uniti a trovare Giacinto Scoles a Princeton, dove lui è professore di chimica, insieme ai coniugi Böbel, che non avevano ancora visto New York e gli Stati Uniti. A Princeton tenne un seminario sull’ultima ricerca effettuata. Tutto il resto del viaggio (dal 4 al 25 Novembre) fu puramente turistico, con visite a New York. Gianni andò a rivedere il Dipartimento di Fisica dell’Università di Rutgers, trovandolo enormemente sviluppato e modernizzato. L’ultimo evento di rilievo cui Gianni partecipò è stato il conferimento ad Harmon Craig, il caro amico di Chicago, del Premio Balzan, per i suoi bellissimi lavori in geochimica. Il premio venne conferito a Roma dal Presidente della Repubblica, con discorsi dei tre premiati. Gianni ebbe così l’occasione dopo vari anni di rivedere Ham e sua moglie Valerie e di chiacchierare a più non posso dei vecchi tempi di Chicago. Purtroppo tre anni dopo Ham, che aveva già avuto disturbi di cuore, è deceduto.

In conclusione, l’anno 1998 è stato per Gianni uno dei più belli e soddisfacenti di questo suo periodo della terza età. Alla fine del Novecento, Gianni iniziò un lavoro di ricerca in collaborazione con Nadia Robotti, sulla storia della determinazione del numero degli elettroni in un atomo, argomento

affrontato da J. J. Thomson nel 1906 dopo la sua scoperta dell'elettrone nei raggi catodici. La ricerca richiese molto tempo. Per via di difficoltà della rivista a cui è stato inviato, *Annals of Science*, l'articolo non è stato ancora pubblicato. Nel frattempo, avendo tenuto per due anni successivi lezioni a studenti della terza età a Rapallo, Gianni si trovò ad avere accumulato molto materiale illustrativo sulle scoperte fisiche e sulle relative applicazioni tecnologiche avvenute nel corso dell'Ottocento. Egli pensò che fosse utile pubblicare un libro illustrato sull'argomento, comprendente essenzialmente argomenti di fisica classica, che fu da lui chiamato manuale storico-scientifico. Con il contributo finanziario del Dipartimento, ne venne fuori un volume intitolato *Scoperte fisiche e innovazioni tecnologiche nel corso dell'Ottocento* con molte illustrazioni ricavate da testi di Fisica e di Tecnologia dell'epoca. Il volume cerca di spiegare i rapporti tra le scoperte scientifiche e le innovazioni tecnologiche che ebbero luogo durante il Secolo XIX. Tali rapporti sono della stessa natura di quelli che hanno provocato il grande sviluppo della tecnologia che ha condizionando il progresso economico e sociale della società umana nel Secolo XX. Nel corso del 2000 Gianni ha messo mano ad una serie di lavori storico-scientifici su vari argomenti. Alla fine del 2004, con una sospensione di circa un anno per malattia, poi superata, egli aveva terminato e spedito alle riviste alcuni lavori storico-scientifici sui seguenti argomenti: 1) Il sistema periodico degli elementi dalla proposta di Mendelejev ai primi modelli dell'atomo, pubblicato sui *Quaderni di storia della fisica* nel 2003 ; 2) La scoperta dei raggi X caratteristici da parte di Barkla, inviato ad *Annals of Science*, ma non accettato; 3) La misura della carica delle particelle alfa da parte di Rutherford e Geiger, inviato a *Physis*; 4) La storia del concetto di conducibilità elettrica dei gas e dei suoi metodi di misura, non ancora pubblicato. È in avanzata preparazione un articolo sulla misura della carica elettrica unitaria. Gianni sta infine pensando di scrivere un articolo sulla storia della determinazione del numero di Avogadro. Egli dovrebbe ritenersi soddisfatto.

Gianni ha festeggiato i suoi ottanta anni a settembre con una cena a Camogli con la famiglia e gli amici ed una seconda cena con i colleghi universitari, tra cui Giacinto Scoles, Davide Bassi e Lucia Meneghetti, tutti venuti da fuori, e Enrico Beltrametti, Riccardo Ferro e molti altri di Genova. Per questa celebrazione devo essere particolarmente grato ad Andrea Levi e a Maria Grazia Dondi. Come ultima notizia, va detto che Gianni nel 2003 ha ricevuto il titolo di socio benemerito da parte della Società Italiana di

Fisica, con annessa medaglia.

Bibliografia

Autoradiografia

- [1] A. Ascenzi, G. Boato, F. Passalacqua, Autoradiographic evidence of the occurrence of organic iodine in the pituitary, *Nature* 156, 1069 (1949).
- [2] A. Ascenzi, G. Boato, F. Passalacqua, "Presence of the organic iodine in the pituitary", *Nature* 169, 886 (1952).
- [3] A. Ascenzi, G. Boato, F. Passalacqua, On the organic iodine in the pituitary gland, *Radioisotope Techniques* (vol. 1), *Proceedings of the Isotope Conference*, Oxford, July 1951.
- [4] G. Boato, F. Passalacqua, Gli isotopi radioattivi nelle ricerche biologiche, *Recenti Progressi in Medicina* 8, 265 (1949).
- [5] G. Boato, F. Passalacqua, Moderni orientamenti sull'istochimica della tiroide con particolare riguardo alla tecnica auto radiografica, *Recenti Progressi in Medicina* 9, 7 (1952).

Isotopi stabili in natura

- [6] G. Boato, G. Careri, G. Nencini, M. Santangelo, Sulla composizione isotopica dell'argon nei gas naturali, *Annali di geofisica* 4, 112 (1961).
- [7] G. Boato, G. Careri, G. G. Volpi, Argon isotopes in natural gases, *Nuovo Cimento*, 10, 995 (1952).
- [8] G. Boato, The primival cosmic abundance of deuterium, *Physical Review* 98, 640 (1954).
- [9] G. Boato, The isotopic composition of hydrogen and carbon in the carbonaceous chondrites, *Geochemical and Cosmochemical Acta* 6, 209 (1984).
- [10] G. Boato, Meaning of deuterium abundance in meteorites, *Nature* 177, 424 (1956).
- [11] G. Boato, H. Craig, Geochimica degli isotopi nelle acque meteoriche e termali, *Atti del I Convegno di Geologia Nucleare*, Roma (Aprile 1955).
- [12] G. Boato H. Craig, D. White, Isotopic geochemistry of thermal waters, *Proc. II Conference of Nuclear Processes in Geological Settings*, (1956).
- [13] G. Boato, H. Craig, Isotopes, *Annual Review of Physical Chemistry*, 6, 403 (1955).
- [14] G. Boato, Isotope fractionation processes in nature, *Atti del Corso Internazionale di Geologia Nucleare*, Varenna (1960).
- [15] G. Boato, V. Togliatti, Seasonal variations of the C^{18} content of meteoric waters in the upper mediterranean basin, *Atti del Corso Internazionale di Geologia Nucleare*, Varenna (1960).

Reazioni chimiche di scambio

- [16] G. Boato, G. Careri, A. Cimino, E. Molinari, G. G. Volpi, A perturbing factor in the kinetics of the homogeneous H_2 - D_2 exchange reaction, *Nuovo Cimento*, 10, 998 (1953).
- [17] G. Boato, G. Careri, A. Cimino, E. Molinari, G. G. Volpi, Neue Messungen der homogenen Austauschgeschwindigkeit zwischen H_2 und D_2 , *Naturwissenschaften* 13, 338 (1955).
- [18] G. Boato, G. Careri, A. Cimino, E. Molinari, G. G. Volpi, Homogeneous exchange reaction between H_2 and D_2 , *Journal of Chemical Physics*, 24, 788 (1956).

Effetti isotopici negli equilibri di fase

- [19] G. Boato, R. Sanna, M. E. Vallauri, M. Reinharz, Uno spettrometro di massa di elevata sensibilità, *Supplemento del Nuovo Cimento*, 16, 215 (1960).
- [20] G. Boato, G. Scoles, M. E. Vallauri, Vapour pressure of isotopic liquids – A, N_2 , O_2 below boiling point, *Nuovo Cimento*, 14, 785 (1959).
- [21] G. Boato, G. Casanova, M. E. Vallauri, Vapour pressure of isotopic liquids – Ne and A above boiling point, *Nuovo Cimento*, 16, 505 (1960).
- [22] G. Boato, G. Casanova, G. Scoles, M. E. Vallauri, Some correction to previous papers, *Nuovo Cimento* 20, 87 (1961).
- [23] G. Boato, G. Casanova, A self consistent set of molecular parameters for argon, neon, krypton and xenon, *Physica* 27, 571 (1962).
- [24] E. Ancona, G. Boato, G. Casanova, Vapour pressure of isotopic liquids – CO , N_2 and O_2 above boiling point, *Nuovo Cimento* 24, 121 (1962).
- [25] G. Boato, G. Scoles, M. E. Vallauri, Vapour pressure of isotopic solids by a steady flow method: argon between $72^\circ K$ and triple point, *Nuovo Cimento* 23, 1041 (1962).
- [26] G. Boato, G. Casanova, A. Levi, Isotope effects in phase equilibria, *Journal of Chemical Physics* 37, 201 (1962).
- [27] G. Boato, Isotope effects in phase equilibria, *Journal de Chimie Physique*, 44 (1963).
- [28] G. Boato, G. Casanova, Separation factor in isotopic phase equilibria, *Cosmic and Isotopic Chemistry* (dedicated to H. C. Urey), North Holland Publ. Co. (1964).
- [29] G. Boato, G. Casanova, A. Levi, On the self diffusion in liquid argon, *Journal of Chemical Physics* 40, 2419 (1964).

I solidi di gas inerti.

- [30] G. Boato, R. Fieschi; G. F. Nardelli, Autodiffusione in argon solido, *Suppl. Nuovo Cimento* (1963).

- [31] G. Boato, The solidified inert gases, *Cryogenics* 4, 65 (1964).
[32] A. Bernè, G. Boato, M. Paz, Experiments on solid argon, *Nuovo Cimento* 46, 182 (1966).

Superconduttività.

- [33] G. Boato, G. Gallinaro, C. Rizzuto, Superconducting transition of aluminium containing transition metal impurities, *Physics Letters* 5, 20 (1963).
[34] G. Boato, G. Gallinaro, C. Rizzuto, Direct evidence for quantized flux threads in type II superconductors, *Solid State Communications* 3, 173 (1965).
[35] G. Boato, M. Bugo, C. Rizzuto, The effect of transition metal impurities on the residual resistivity of Al, In, Zn and Sn, *Nuovo Cimento* 45, 226 (1966).
[36] G. Boato, G. Gallinaro, C. Rizzuto, The effect of transition metal impurities on the critical temperature of superconducting Al, In, Zn and Sn, *Physical Review* 148, 353 (1966).
[37] G. Boato, J. Vig, The thermopower of Aluminium with transition metal impurities, *Solid State Communications* 5, 649 (1967).
[38] G. Boato, Stati risonanti di elementi di transizione nei metalli, *Suppl. Nuovo Cimento* 5, 1159 (1967).
[39] G. Boato, M. Bugo, C. Rizzuto, Superconductivity, low temperature resistivity and thermoelectric power of dilute solid solution of Ce in In and Sn, *Journal of Applied Physics* 39, 848 (1968).
[40] R. S. Newrock, B. Serin, J. Vig, G. Boato, The Kondo effect in ZnMn, *J. Of Low Temperature Physics* 5, 701 (1971).

Diffrazione di fasci atomici e molecolari da superfici cristalline

- [41] G. Boato, P. Cantini, M. J. Cardillo, R. Tatarek, Diffraction of helium atoms from the (001) face of LiF at 10°K, *Symposium of Molecular Beams*, Cannes (1973).
[42] G. Boato, P. Cantini, Experiments of scattering of light atomic beams by crystal surfaces, Seminario alla Scuola internazionale "E. Fermi" su 'Dynamic Aspects of Surface Physics', Varenna (1973).
[43] G. Boato, P. Cantini, U. Garibaldi, A. Levi, L. Mattera, R. Spadacini, G. Tommei, Diffraction and rainbow in the scattering of atoms by crystal surfaces, *J. of Physics* C 6, L 394 (1973).
[44] G. Boato, P. Cantini, L. Mattera, Diffraction of hydrogen molecules from the (001) face of LiF at 80°K, *Proc. 9th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics*, Göttingen (1974).
[45] G. Boato, P. Cantini, U. Garibaldi, A. Levi, L. Mattera, Diffraction of nozzle molecular beams by crystal surfaces at low temperature, *Japan Journal of Applied Physics*, December, Supplement (1974).

- [46] G. Boato, Diffrazione elastica e anelastica di atomi da superfici cristalline, Lezione alla “Scuola Estiva Mediterranea sugli stati di superficie ed il legame chimico”, Casamari (Settembre 1975).
- [47] G. Boato, P. Cantini, L. Mattera, A study of the (001) face of LiF at 80°K by means of diffractive scattering of He and Ne at thermal energies, *Surface Science* 55, 141 (1976).
- [48] G. Boato, P. Cantini, L. Mattera, The diffraction of H₂ beams from the (001) face of LiF at 80°K, *Journal of Chemical Physics* 65, 544 (1976).
- [49] G. Boato, P. Cantini, R. Tatarek, Diffraction of He and H₂ molecular beams from a low temperature metal surface, *Journal of Physics F* 6, L237 (1976).
- [50] G. Benedek, G. Boato, *Scattering of thermal atoms from crystal surfaces*, Europhysics News (1977). [Articolo sullo stato dell’arte].
- [51] G. Boato, P. Cantini, R. Tatarek, *Diffraction of molecular beams from a low temperature metal surface*, Proc. of 3rd International Conference on Solid Surfaces, Vienna (1977), Vol II, p.1377.
- [52] G. Boato, P. Cantini, R. Tatarek, A study of gas-graphite potential by means of He atom diffraction, *Physical Review Letters* 40, 887 (1978).
- [53] G. Boato, P. Cantini, R. Tatarek, G.P. Felcher, Diffraction of He atoms by the basal (001) face of graphite: a study of bound state resonances, *Surface Science* 80, 518 (1979).
- [54] G. Boato, P. Cantini, R. Colella, Direct observation of charge-density waves by molecular beam diffraction, *Physical Review Letters* 42, 1635 (1979).
- [55] P. Cantini, G. Boato, R. Colella, Surface charge-density waves observed by atomic beam diffraction, *Physica* 99B, 59 (1980).
- [56] G. Boato, P. Cantini, Atomic vibrations at the (0001) graphite surface studied by He diffraction, *Surface Science* 119, 485 (1982).
- [57] M. Canepa, P. Cantini, L. Mattera, S. Terreni, G. Boato, *Structure of oxygen chemisorbed on Ag (110) studied by He diffraction*, 5th IMBS, Flevepolder, Olanda (1985).
- [58] G. Boato, P. Cantini, Diffraction of atoms and molecules from crystalline surfaces, *Advances in Electronics and Electron Physics*, Academic Press (1983).
- [59] G. Boato, Elastic Scattering of Atoms, in *Atomic and Molecular Beam Method*, edited by G. Scoles, Volume 2, p. 340 (1992).

Surface Phase transitions.

- [60] M. Jaubert, A. Glachant, M. Bienfait, G. Boato, Uniaxial commensurate-incommensurate transition in surface films: Xe adsorbed on Cu(110), *Physical Review Letters*, 46, 1679 (1981).
- [61] M. Jaubert, A. Glachant, M. Bienfait, G. Boato, Monolayer adsorption of Kr and Xe on metal surfaces: structure and uniaxial phase transitions on Cu(110), *Surface Science*, 115, 319 (1981).

Storia della Fisica, Strumenti Scientifici e Museo di Fisica.

- [62] G. Boato, Experiments on liquid and solid inert gases and on superconductivity in Genoa, Proc. of the Conference on “The Origins of Solid-state Physics in Italy: 1945 – 1960” (a cura di G. Giuliani) Pavia (1987).
- [63] G. Boato, G. G. Volpi, Experiments on the dynamics of molecular processes: A chronicle of fifty years, *Ann. Rev. Physical Chemistry*, 50, 23 (1999). [Articolo di rassegna].
- [64] G. Boato, *L'insegnamento della fisica all'Università di Genova nell'Ottocento*, Atti del X Congresso Nazionale di Storia della Fisica, Cagliari 1989 (a cura di Fabio Bevilacqua), (1991), p. G. Boato, G. Bruzzaniti, *Il Gabinetto di Fisica e la didattica a Genova tra la fine del '700 e l'inizio del '900*, Atti del Convegno del 14–15 Dicembre 1990 su “I beni culturali scientifici nella storia e nella didattica” (a cura di F. Bevilacqua), Università di Pavia (1993), p. 15.
- [65] G. Boato, *Notizie storiche sull'evoluzione della cultura scientifica nell'Università di Genova tra la fine del '700 e l'inizio del '900*, Genova (1993).
- [66] G. Boato, G. Bruzzaniti, N. Robotti, *Experimental Physics in Genoa during the 19th Century*, Proc. 11th International Scientific Instrument Symposium, Grafis Ed., Bologna (1991), p.227
- [67] F. Acerenza, E. Bellone, G. Boato, G. Bruzzaniti, N. Robotti, *Il Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova e il patrimonio storico-scientifico: un progetto in evoluzione*, in “Instrumenta” (a cura di G. Dragoni), Grafis Ed. (1991), p. 219.
- [68] G. Boato, N. Moro, Bancalari's role in Faraday's discovery of diamagnetism and the successive progress in the understanding of magnetic properties of matter, *Annals of Science*, 51, 391 (1994).
- [69] G. Boato, *L'esperienza del Museo di Fisica. Gli strumenti di Scienze della Terra e di Elettronica*, in Atti del convegno su “Strumentazione storico-scientifica in Liguria”, a cura di Giovanni Boato, Genova (1995), p. 13.
- [70] G. Boato, G. Bruzzaniti, N. Robotti, *Il Museo del Dipartimento di Fisica e le modalità della sua costituzione*, in Atti del Seminario sulla strumentazione storico-scientifica in Liguria, Genova (1995).
- [71] F. Acerenza, G. Boato, N. Robotti, *19th Century physics teaching with instruments: a new assesement*, Proc. XIV International Symposium of Scientific Instruments, Praga (1995).
- [72] G. Boato, Atomi, molecole e costituzione dei corpi nel primo Ottocento. I contributi di Ampère e di Avogadro. Parte I. L'ipotesi di Avogadro, *Giornale di Fisica*, 37, 3, (1996).
- [73] G. Boato, Atomi, molecole e costituzione dei corpi nel primo Ottocento. I contributi di Ampère e di Avogadro. Parte II. La costituzione ultima dei corpi, *Giornale di Fisica*, 37, 84 (1996).
- [74] G. Boato, D. Budicin, *Catalogo informatico degli strumenti del Museo di Fisica*, Dipartimento di Fisica, Genova (1997)

- [75] G. Boato, *Scoperte fisiche e innovazioni tecnologiche nel corso dell'Ottocento*, Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Genova, Genova (2002).
- [76] G. Boato, The periodic system of chemical elements from Mendeleev's conception to the first atomic models, *Quaderni di Storia della Fisica* 11, 75 (2003).
- [77] G. Boato, N. Robotti, Estimating the number of electrons in the atoms of chemical elements: 1897–1912, *Physis* 42 (2005).

Libri e articoli di Fisica Generale.

- [78] G. Boato, “*Lezioni di Termodinamica*”, Pacetti, Genova (1958).
- [79] G. Boato, Il terzo principio della termodinamica, *Giornale di fisica* 4 (1963).
- [80] G. Boato, Considerazioni sul primo principio della termodinamica, *La Fisica nella scuola* (1968).
- [81] G. Boato, Termodinamica e teoria cinetica nel 2° anno del corso di Laurea in Fisica, Relazione al III Congresso Nazionale sull'insegnamento della Fisica, Bressanone (1976).
- [82] G. Boato, D. Bassi, Fasci Atomici e Molecolari, in *Enciclopedia della Fisica* (a cura di Roberto Fieschi), Vol. II, 9–94, ISEDI, Milano (1976).
- [83] G. Boato, *Termodinamica. Introduzione alla termodinamica classica e alla fisica statistica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano (1987).
- [84] G. Boato, Leggi della termodinamica, Calore, Teorie del calore, Calorimetria, Ablazione termica Conduzione termica, Convezione termica, Entropia, Voci quadro in *Dizionario di Scienze Fisiche* (Istituto dell'Enciclopedia Italiana) (1994).
- [85] G. Boato, *Strumenti nella Fisica dell'Ottocento*, SAGEP, Genova (1993).
- [86] G. Boato, La “Relazione sui problemi della Scuola”: un rilevante documento formulato dai fisici italiani nel 1964, con la supervisione di Guido Tagliaferri, in “Per Guido”, incontro in ricordo di Tagliaferri, Milano (2001), *Giornale di Fisica* 44, 48 (2003).

Capitolo 8

Gianfranco Corazza

Nato a Pisa il 16 dicembre 1924, Gianfranco Corazza si è laureato in Fisica a Pisa nel 1953 con Marcello Conversi con una tesi sul decadimento del mesone μ . Con Giuseppe Martelli ha collaborato all'installazione e alla messa in funzione di un'esperienza sugli sciami estesi, alla "Capanna dei raggi cosmici" di Plateau Rosa (Cervinia). Ha fatto parte del gruppo diretto da Giorgio Salvini per la costruzione dell'Elettrosincrotrone di Frascati progettando e costruendo la camera e il relativo impianto da vuoto. Dopo aver condotto studi sulla produzione dell'ultra-vuoto partecipò alla progettazione e alla costruzione dell'anello di accumulazione AdA e successivamente di Adone. Nel settembre 1971 ha lasciato i Laboratori di Frascati per trasferirsi al CERN di Ginevra dove ha fatto parte del gruppo di lavoro per la costruzione dell'SPS (Super ProtoSincrotrone da 300 GeV) e dove è rimasto fino all'anno del suo pensionamento.

8.1 La prima giovinezza e la guerra

Sono nato a Pisa il 16 dicembre 1924. Ho vissuto un'infanzia felice, allietata dall'affetto dei miei genitori e di un unico fratello che aveva 18 anni più di me. I miei genitori erano entrambi pisani, ma mio nonno paterno, discendente di una famiglia veneta, titolare di una piccola impresa specializzata nell'arte del mosaico, si era trasferito da Oderzo (Treviso) a Pisa dove aveva avuto commesse di lavoro; non ritornò più nella sua città natale. A Pisa devono esserci ancora, in alcuni palazzi, mosaici da lui realizzati. Il nonno morì giovane. Mio padre era ancora ragazzo, e suo fratello maggiore lo

impiegò presso l'industria tessile di proprietà della famiglia Pontecorvo di cui egli era un dirigente.

Terminate le scuole elementari, mi iscrissero a una scuola per periti industriali. In seguito alle leggi razziali del 1938, Pontecorvo (padre di Bruno e di Gillo), a causa della sua origine ebraica, dovette abbandonare la sua attività industriale, e mio padre rimase disoccupato per un lungo periodo, fino a quando l'industria fu acquistata dalla Marzotto. Per questa ragione dovetti interrompere gli studi e impiegarmi presso un ente statale.

Nel marzo del 1943 fui chiamato alle armi. Caduto il fascismo, l'8 settembre dello stesso anno, riuscii a tornare a casa. A causa dei bombardamenti su Pisa tutta la famiglia si trasferì a Camporgiano nell'alta Garfagnana (Lucca). Rimasi lì fino al febbraio del 1944 quando, a seguito dei bandi di reclutamento della Repubblica di Salò, fui arruolato nella Divisione S. Marco, e trasferito in Germania. Dopo un periodo di addestramento di alcuni mesi, la Divisione tornò in Italia. Il mio reparto si stabilì in Liguria, in un primo tempo a Cairo Montenotte e successivamente tra Millesimo e Cengio. Da qui, dopo circa un mese di preparativi, tutto il reparto raggiunse in montagna un gruppo di partigiani di una Divisione Garibaldina. Durante un rastrellamento, nei primi di gennaio 1945, fui catturato con alcuni compagni (fortunatamente senza armi) da un reparto di Carabinieri e trasferito nelle carceri di Albenga. Dopo un lungo periodo di interrogatori fummo reintegrati, alla fine di febbraio, in un reparto della Divisione S. Marco di stanza in Acqui Terme. In aprile raggiunsi di nuovo i partigiani in montagna e così, ai primi di maggio, dopo la Liberazione, partii da Acqui Terme in bicicletta con un lasciapassare dei partigiani stessi e raggiunsi con grande fatica Camporgiano. Arrivato a casa, bussai e nessuno rispose. Si affacciò la coinquilina, che nel riconoscermi mi informò che mia madre era andata a raccogliere la cicoria di campo che cresceva su una scarpata dietro la chiesa. Raggiunsi rapidamente il posto e da lontano scorsi la figura di mia madre; la chiamai, ella si voltò, mi guardò, dette l'impressione di non riconoscermi e si chinò di nuovo verso il prato. Evidentemente per lei era impossibile immaginare che suo figlio fosse ritornato in così breve tempo. Ma il mio volto le era rimasto impresso negli occhi tanto che subito dopo si volse nuovamente verso di me e chiamandomi per nome mi venne incontro, commossa, ad abbracciarmi. È un episodio per me indimenticabile.

8.2 Gli studi universitari a Pisa

Ritornato a Pisa, ripresi gli studi e conseguii da privatista la maturità scientifica; mi iscrissi poi alla facoltà di Matematica con l'intento di intraprendere la carriera di insegnante.

Intanto lo studio della fisica mi interessava sempre più e così al secondo anno cambiai facoltà; gli esami già sostenuti mi furono convalidati. Direttore dell'Istituto di fisica era stato fino al 1947 il Prof. Luigi Puccianti, al quale succedette il Prof. Nello Carrara, suo ex allievo esperto in microonde.

Fu Carrara che tenne i due corsi di Fisica generale. Il Prof. Puccianti dopo il suo collocamento fuori ruolo continuò a risiedere nell'Istituto, nell'appartamento che già occupava come direttore; qui continuò la sua attività didattica impartendo agli studenti del terzo anno di corso, fino al 1950, le lezioni di Fisica superiore sulla teoria dell'elettromagnetismo secondo Ampère.

Erano gli anni del dopoguerra, e gli iscritti alla facoltà di Fisica erano così pochi che il Prof. Puccianti teneva queste lezioni nello studio della sua casa, e noi studenti – eravamo quattro o cinque – lo ascoltavamo seduti intorno alla sua scrivania.

Mi avviavo alla fine degli studi quando ricoprì la carica di direttore dell'Istituto il Prof. Marcello Conversi, che a quell'epoca si occupava di raggi cosmici.

Ormai dovevo preparare la tesi di laurea, così Conversi mi presentò al Prof. Giuseppe Moruzzi, un fisiologo che studiava i centri del sonno e che aveva bisogno, per una ricerca che stava conducendo, dell'aiuto di un laureando in fisica.

Il Prof. Moruzzi, per descriverci l'esperimento in corso, ci accompagnò nel suo laboratorio dove un gatto sporco di sangue emetteva un rantolo impressionante: gli era stata tagliata la carotide, presentava tanti elettrodi piantati nella testa e veniva mantenuto in vita da un polmone artificiale.

Terminata la visita, sulla strada di ritorno dissi al Prof. Conversi che avrei preferito un altro argomento di tesi; così egli mi assegnò una tesi sul decadimento del mesone μ . Una parte dell'apparecchiatura per questa ricerca era stata progettata e costruita da Conversi a Roma, con la collaborazione di Italo Federico Quercia. Fui incaricato di completarla. Durante i miei studi non avevo mai seguito corsi relativi ai raggi cosmici. I libri di Bruno Rossi mi furono indispensabili per affrontare questo lavoro.

Erano tempi eroici, tutto doveva essere realizzato in istituto, sia per la man-

canza di sufficienti finanziamenti, sia per la difficoltà di approvvigionarsi delle apparecchiature necessarie, presso le industrie. Ricordo a proposito che Conversi, poco dopo il suo arrivo a Pisa, progettò e fece costruire un oscillografo. La traccia di questo oscillografo poteva essere ridotta a linea tratteggiata. La distanza temporale tra due impulsi successivi veniva stimata contando il numero di tratti che li separavano. I circuiti dell'apparato sperimentale erano realizzati con tubi elettronici ottenuti dai residuati ARAR, residuati delle apparecchiature militari americane in disuso. Non esistendo un alimentatore per i contatori Geiger, si provvide alla sua costruzione usando migliaia di pile da 2 Volt collegate in serie e inserite a strati in grosse casse immerse nella paraffina. L'ultima cassa fu chiusa con una lastra di plexiglas, sulla quale erano inseriti i collegamenti che fornivano tensioni tra 2000 e 2500 Volt.

8.3 Prime esperienze con il “vuoto”

Sostenni gli esami di laurea nel marzo 1953. Dopo il conseguimento della laurea ebbi un incarico di insegnamento della matematica presso l'Istituto per Geometri; il pomeriggio, spesso fino a tarda sera, continuai a frequentare l'Istituto di Fisica per completare la messa a punto dell'apparecchiatura di ricerca. Nell'agosto di quello stesso anno Conversi mi inviò alla “Capanna dei raggi cosmici” di Plateau Rosa (Cervinia) con il compito di collaborare con il Prof. Giuseppe Martelli alla messa in funzione di un esperimento sugli sciami estesi. In quello stesso periodo alla Capanna conobbi Giorgio Ghigo inviato dall'Università di Torino. Non immaginavo allora quanta strada avremmo fatto insieme.

Quando ritornai a Pisa, Conversi ebbe l'idea di realizzare, in Istituto, i contatori Geiger.

Era necessario costruire un impianto per provvedere a vuotare i tubi prima di riempirli di gas neutro. Nel magazzino dell'Istituto esisteva una pompa della ditta Leibold, nuova, in vetro a diffusione d'olio, che poteva essere utilizzata allo scopo. Fui incaricato di seguire un soffiatore di vetro che veniva da Roma ogni sabato per assemblare le varie parti dell'impianto realizzato interamente in vetro pirex. Per poter seguire questo lavoro consultai un libro molto usato all'epoca dove erano descritte tutte le tecnologie utili in laboratorio. Si trattava dei *Procedimenti di fisica sperimentale* di John Strong; era considerato l'enciclopedia del buon ricercatore, ne ricordo



Figura 8.1: Marcello Conversi.

ancora la copertina verde. Dalla consultazione di esso imparai quali erano gli olii a bassa tensione di vapore da usare nella pompa, quali i grassi da usare nei rubinetti per facilitarne la tenuta, come fare la ricerca delle fughe, come ripararle, e tante altre cose oggi largamente superate e che a 60 anni di distanza fanno ormai parte della storia della tecnologia. Appresi così i primi elementi della tecnica del vuoto che successivamente ho approfondito.

8.4 L'Elettrosincrotrone

Intanto il Prof. Giorgio Salvini, trasferitosi da Cagliari a Pisa quale titolare della cattedra di Fisica Sperimentale, interessato a proseguire le sue ricerche sui raggi cosmici, intendeva costruire una camera di Wilson. Mi chiese se ero interessato a collaborare per realizzarla. Accettai con entusiasmo e mi misi subito a studiare il problema. Avevo iniziato a tracciare i primi schizzi della camera quando Salvini fu incaricato del progetto per la realizzazione dell'Elettrosincrotrone Nazionale da 1000 MeV.

Così, messa da parte l'idea di costruire la camera di Wilson, Salvini si dedicò alla formazione del gruppo di lavoro che doveva interessarsi della progettazione dei vari componenti della macchina. Fecero parte di questo

primo gruppo di lavoro, a Pisa, Ferdinando Amman, Giordano Diambrini, Giorgio Ghigo, Mario Puglisi, Giancarlo Sacerdoti, ed io, tutti giovani da poco laureati in fisica o ingegneria. Un gruppo teorico, per la definizione dei parametri della macchina, composto da Carlo Bernardini e Angelo Turrin, diretto dal Prof. Enrico Persico, si formò all'Istituto di Fisica dell'Università di Roma. Nei primi mesi del 1954, su invito di Salvini il Prof. Matthew Sands, docente universitario americano che in quel periodo si trovava in Italia, ci tenne una serie di seminari per prepararci alla costruzione del Sincrotrone. Si iniziò con lo studio del magnete sia perché dalla sua struttura dipendeva il dimensionamento degli altri componenti della macchina, sia perché la sua realizzazione avrebbe richiesto un lungo periodo di tempo da parte dell'industria incaricata della costruzione. La ditta scelta per la realizzazione del magnete fu l'Ansaldo San Giorgio di Genova che iniziò la progettazione costruttiva sin dalla fine del 1954.

Giancarlo Sacerdoti si trasferì a Genova per seguire il lavoro di progettazione, Ferdinando Amman andò a Milano presso il Politecnico per lo studio in vasca elettrolitica delle estremità del profilo polare dei magneti; nel frattempo Mario Puglisi si trasferì a Firenze presso il "Centro studi per la fisica delle microonde", di cui era direttore il Prof. Nello Carrara, per iniziare lo studio sul sistema di radiofrequenza.

Con il Prof. Guido Tagliaferri dell'Università di Milano, che rimase con il gruppo per un breve periodo, io iniziai lo studio per la realizzazione della camera da vuoto e del suo impianto. Visitai diverse ditte da lui suggerite per verificare la loro disponibilità alla collaborazione per la costruzione della camera e dell'impianto. Trovai un grande entusiasmo da parte di tutti; c'era una forte consapevolezza dell'importanza dell'impresa e ognuno desiderava partecipare.

Per me il problema più importante da risolvere era come avrei potuto realizzare la camera da vuoto per la quale non poteva essere usato materiale conduttore perché inserita in un magnete a campo variabile con frequenza di 20 Hz. Nello stesso periodo negli Stati Uniti, i fisici della Cornell University, stavano già costruendo un elettrosincrotrone, e noi ci tenevamo al corrente delle tecnologie da essi usate nella costruzione delle varie parti della macchina: avevano realizzato la camera da vuoto con tubi in vetro pirex.

Pensai di utilizzare questa soluzione. Dopo aver disegnato la sezione della camera mi recai presso una ditta di Acqui Terme, la Miva, specializzata

nella realizzazione di oggetti in vetro pirex. Mi fecero presente che, date le dimensioni della camera, non esistevano macchinari adatti per costruire lunghi tubi con quella sezione, ma avrebbero potuto far realizzare da un soffiatore di vetro pezzi di una lunghezza massima di circa quaranta centimetri, ciascuno corrispondente al peso di qualche chilo che il soffiatore poteva sostenere sulla sua canna. Costruirono uno stampo di sezione ellittica, secondo il mio disegno, e dopo qualche tempo il soffiatore di vetro, un vero artista, riuscì a ottenere alcuni tubi veramente ben fatti, con pareti perfette e di spessore così uniforme da sembrare impossibile fossero stati realizzati manualmente.

Soddisfatto portai questi pezzi a Pisa e posi uno di essi sotto vuoto, con l'impianto che nel frattempo era stato acquistato. Tutto sembrava andare per il meglio. Ma la mattina successiva trovai il tubo fessurato per tutta la sua lunghezza lungo il diametro maggiore dell'ellisse.

Tornai alla Miva, mi consultai con i tecnici e decidemmo di fabbricare altri tubi aumentando lo spessore alle estremità del diametro maggiore e provvedendo ad una ricottura accurata di essi per assicurarsi della eliminazione di qualsiasi tensione residua all'interno del vetro.

Nonostante queste modifiche il risultato fu identico: anche questi tubi si fessuravano nello stesso modo.

Considerando che i tubi dopo essere stati realizzati venivano tagliati e molati alle estremità, pensai che, anche se la molatura fosse stata eseguita con estrema cura, probabilmente microfratture, non visibili, sui bordi molati, fossero all'origine delle fessurazioni.

Risultò chiaro che la camera da vuoto per il nostro elettrosincrotrone non poteva essere realizzata in vetro pirex. A Cornell avevano potuto usare questa soluzione perchè la sezione della loro camera era molto inferiore alla nostra; il loro Elettrosincrotrone era a focalizzazione forte mentre il nostro era a focalizzazione debole e prevedeva una più grande dimensione del traferro del magnete.

Nello stesso periodo avevo realizzato un piccolo magnete che doveva servire per lo studio del campo magnetico e per la messa a punto degli strumenti di misura che Giordano Diambrini e Giorgio Ghigo stavano progettando.

Questo magnete era composto da lamierini incollati a caldo in modo da formare un unico blocco. Come collante usai l'araldite XV consigliatami dalla ditta Ciba che ebbi più volte occasione di visitare. Lo stesso procedimento di incollaggio dei lamierini fu poi utilizzato dall'Ansaldo San Giorgio per la

realizzazione dei blocchi di magneti dell'Elettrosincrotrone. Durante una visita alla Ciba, dove ero andato a parlare del tipo di araldite da usare come colla, ebbi modo di notare, in alcune vetrine situate nell'atrio dell'edificio e in alcune sale, pezzi di dimensioni anche notevoli, ottenuti colando in stampi araldite B mescolata a polvere di quarzo e polimerizzata a 120°. Trovai interessanti le caratteristiche meccaniche di questo materiale ed ebbi l'idea di iniziare a studiare la possibilità di costruire la camera da vuoto con araldite e polvere di quarzo.

Nel maggio 1955 il gruppo, al quale nel frattempo si erano aggiunti Italo Federico Quercia e alcuni tecnici e meccanici, si trasferì a Roma, dove fu ospitato dall'Istituto di Fisica. I primi studi per la realizzazione della camera con araldite e quarzo li svolsi in un laboratorio di chimica dello stesso Istituto con la collaborazione di Pietro Clozza (un tecnico del gruppo) al quale devo molta riconoscenza per l'impegno che dedicò a questo lavoro. Si realizzarono dapprima piccoli pezzi per ben apprendere la tecnica da seguire.

Il risultato di queste prime prove ci confermò che sarebbe stato possibile costruire con l'araldite la camera da vuoto. Furono quindi costruiti tubi con araldite caricata con diverse percentuali di polvere di quarzo di varia granulometria, allo scopo di ottenere un tubo sufficientemente rigido e resistente.

In seguito si presentò il problema di rendere conduttrice la parete interna della camera. Tra le varie soluzioni scelsi quella di rivestire la parete con strisce parallele di acciaio inox amagnetico di 0.05 mm di spessore, isolate elettricamente fra loro. Questa metallizzazione aveva il vantaggio di presentare una resistività sufficientemente elevata da rendere trascurabili le correnti in essa indotte per effetto della variazione del campo magnetico, e dal punto di vista elettrostatico permetteva di eliminare, con la sua messa a massa, la formazione di accumuli di cariche indotte dal fascio di elettroni circolanti. Inoltre, tale metallizzazione ricopriva quasi interamente la parete interna della camera, con il vantaggio che dal punto di vista del vuoto si comportava come costruita in acciaio inox.

Terminati questi lavori preliminari, mi dedicai a progettare la forma di camera più adatta ad essere realizzata con i metodi che avevo messo a punto. Scelsi di realizzare pezzi della lunghezza di circa 40 cm, ciascuno formato da due parti: la prima a forma di U, l'altra, il frontale, era piana, incastrata e incollata alla parte ad U con araldite a freddo. Un settore della



Figura 8.2: Gianfranco Corazza nella seconda metà degli anni Cinquanta (Archivio Foto Video L.N.F.).

camera da vuoto sarebbe stato composto da cinque pezzi incollati fra loro con araldite.

Progettai tutti gli stampi utili per le colate dei vari pezzi con Angelo Vitali, un meccanico della nostra officina, con il quale fin da allora cominciai una collaborazione che è durata ininterrottamente per tutto il periodo della mia permanenza ai Laboratori di Frascati.

Terminata la costruzione di un prototipo di settore di camera, soddisfatti e orgogliosi del lavoro fatto, lo portammo nello scantinato dell'edificio per metterlo sotto vuoto con l'impianto che laggiù era stato già installato.

Delusione! La saldatura che univa le due parti (frontale ed U) di ogni pezzo

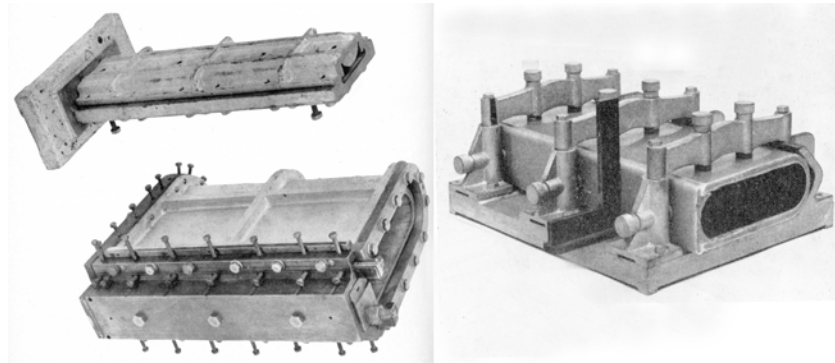


Figura 8.3: Stampi di colata per la camera a vuoto e pressa per l'incollatura delle parti a forma di U e del frontale (Archivio Foto Video L.N.F.).

non reggeva la tensione causata dalla pur minima flessione della parte ad U, e in alcuni punti si fessurava.

Fu per me una brutta sorpresa. Non riuscivo a spiegarmi perché ciò accadesse; infatti i singoli pezzi del settore, prima di essere incollati tra loro, erano stati ampiamente collaudati.

Proprio allora giunse Salvini accompagnato da un visitatore americano, di cui non ricordo il nome; gli mostrò il pezzo da me realizzato. Concentrato sul mio problema, non seguivo il loro colloquio; ad un certo punto il visitatore esclamò: "Very nice, very nice". Io non reagii e allora Salvini mi richiamò dicendomi: "Guarda, sta facendoti dei complimenti, non essere scortese". Sorrisi e ringraziai pensando dentro di me: "Sì, è vero, ma purtroppo mi sta anche creando un serio problema!".

Dopo aver riflettuto sulla struttura della camera capii che il problema derivava dalla rigidità del frontale. Modificai il frontale diminuendone lo spessore in modo che esso seguisse la flessione della parte ad U alleggerendo così la trazione sulla saldatura. Con questa modifica fu costruito un secondo prototipo, con risultati positivi. Con la pompa a vuoto si potevano raggiungere tranquillamente valori di 10^{-6} , 10^{-7} mmHg.

Non ero tuttavia del tutto tranquillo perché camere da vuoto in araldite e quarzo non erano mai state costruite per altri sincrotroni, e mi domandavo quale sarebbe stato il comportamento della camera una volta sottoposta a radiazioni. Per questo inviammo ai colleghi di Cornell alcuni campioni del materiale utilizzato, nella forma con essi concordata, perché fossero esposti

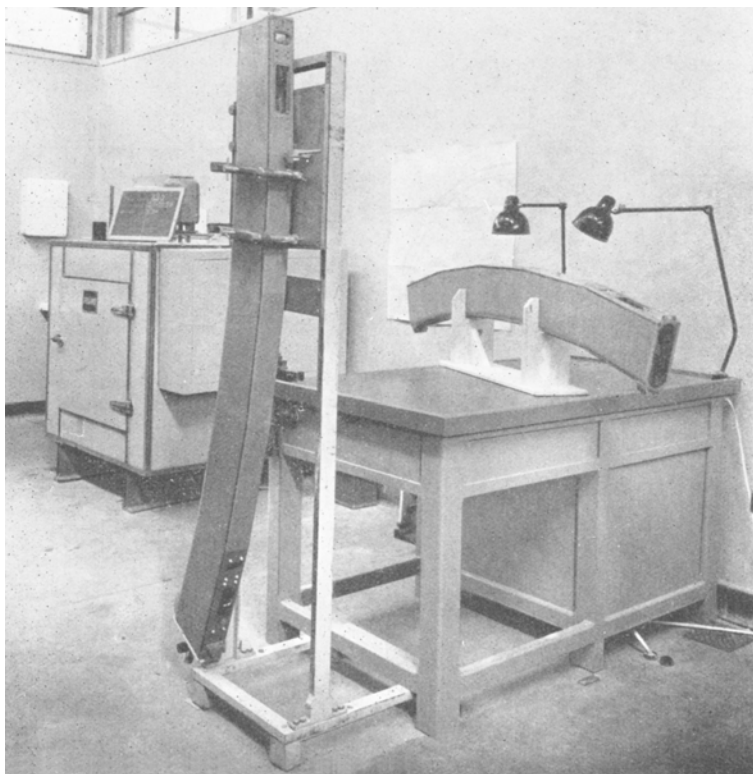


Figura 8.4: Incollatura dei pezzi che compongono un settore della camera da vuoto (Archivio Foto Video L.N.F.).

ai fasci del loro elettrosincrotrone da poco entrato in esercizio. Il responso fu positivo.

La camera del sincrotrone fu costruita interamente da Pietro Clozza nei Laboratori di Frascati nel corso dell'anno 1956, secondo il progetto messo a punto nell'Istituto di Roma.

Definito il progetto degli altri elementi ad essa collegati (radiofrequenze, deflettore per l'iniezione, strumentazione della misura del fascio circolante), si poterono stabilire le caratteristiche dell'impianto da vuoto. Fu indetta una gara d'appalto tra le diverse case costruttrici. La gara fu vinta dalla Galileo di Firenze, che all'epoca aveva in costruzione l'impianto da vuoto per il Protosincrotrone di Saclay (Parigi). Con i tecnici della Galileo ebbero frequenti contatti per definire i controlli per l'esercizio automatico dell'intero

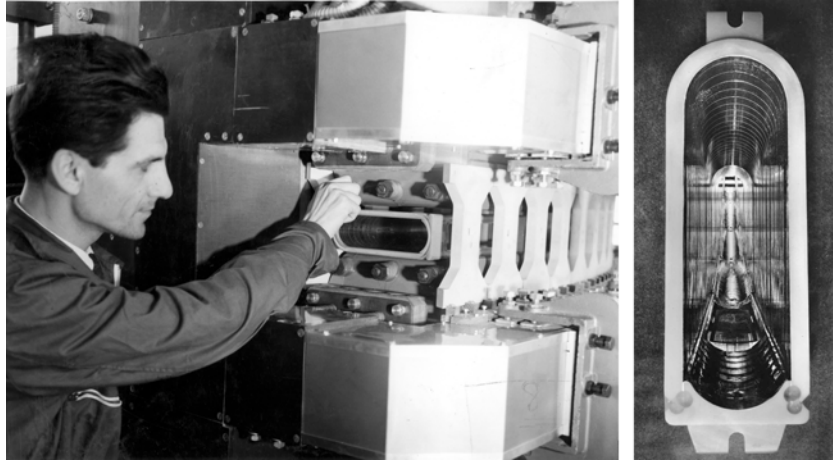


Figura 8.5: Gianfranco Corazza e la camera da vuoto dell'Elettrosincrotrone di Frascati. A destra, vista della ciambella, inizio di un settore ed interno (Archivio Foto Video L.N.F.).

impianto.

L'impianto da vuoto costruito era composto da quattro stazioni di pompaggio, ciascuna comprendente una pompa meccanica per il vuoto preliminare e una pompa a diffusione di olio, come quelle comunemente usate in impianti industriali. Ogni stazione era comandata da un armadio di controllo che ne permetteva la messa in funzione sia in modo semiautomatico che automatico. Ciascun armadio era completo di circuiti di sicurezza.

L'avviamento automatico dell'impianto poteva essere fatto direttamente dalla sala di controllo dell'Elettrosincrotrone. Circuiti di *relay* assicuravano asservimenti, controlli e sicurezza del funzionamento in parallelo delle quattro stazioni di pompaggio. La lettura della pressione in vari punti della camera poteva essere eseguita direttamente dalla sala controllo. Il montaggio della macchina iniziato nel 1957 terminò nell'estate del 1958. Nel settembre dello stesso anno cominciarono le prime prove di iniezione degli elettroni e i primi di febbraio dell'anno 1959 il sincrotrone entrò in funzione.

Dopo pochi mesi, quando le apparecchiature sperimentali che i ricercatori avevano precedentemente realizzato presso i rispettivi laboratori universitari furono installate e collaudate, cominciò la sperimentazione con i fasci dell'elettrosincrotrone.

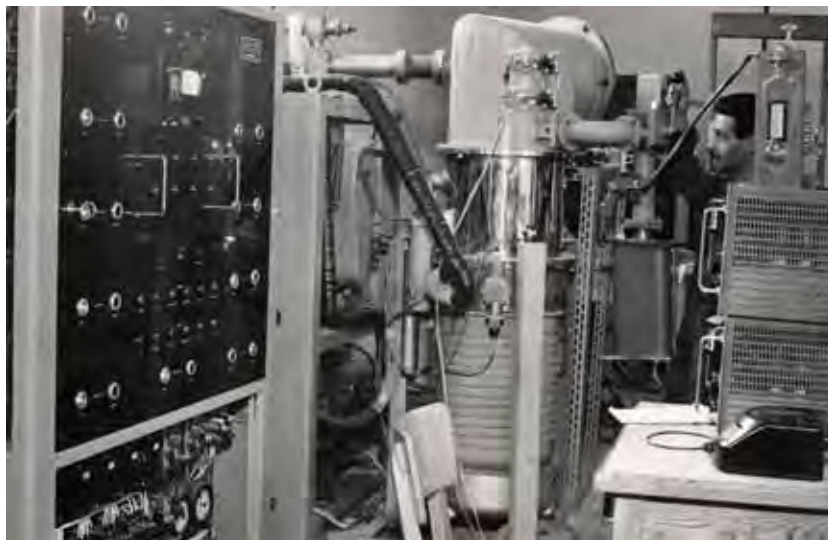


Figura 8.6: Una delle quattro stazioni di pompaggio dell'impianto da vuoto dell'Elettrosincrotrone fornita dalla ditta Galileo. Alla pompa è collegato, per il collaudo, un pezzo della camera da vuoto, prima dell'assemblaggio in un settore (Archivio Foto Video L.N.F.).

Giorgio Ghigo e il suo gruppo furono incaricati dell'esercizio della macchina, io e gli altri colleghi, con i nostri rispettivi laboratori, avevamo il compito di dare assistenza ai gruppi sperimentali e provvedere alla manutenzione ordinaria e straordinaria della macchina stessa.

8.5 AdA e la sfida dell'ultra-vuoto

Entrato in funzione l'Elettrosincrotrone, si pensò di intraprendere una nuova attività, e per questo si formò un gruppo di studio del quale Bruno Touschek fu l'animatore. Ognuno di noi, secondo le proprie competenze, si dedicò allo studio delle nuove tecnologie che nel frattempo si erano sviluppate. Gli elettronici, ad esempio, che avevano utilizzato nei circuiti di controllo le valvole termoioniche, si dedicarono allo studio dei transistor. Nello stesso periodo con lo sviluppo della ricerca in vari campi della fisica, in particolare dei gas ionizzati e della fisica dello stato solido, si era iniziato a studiare come poter ottenere un vuoto con pressione minore o uguale

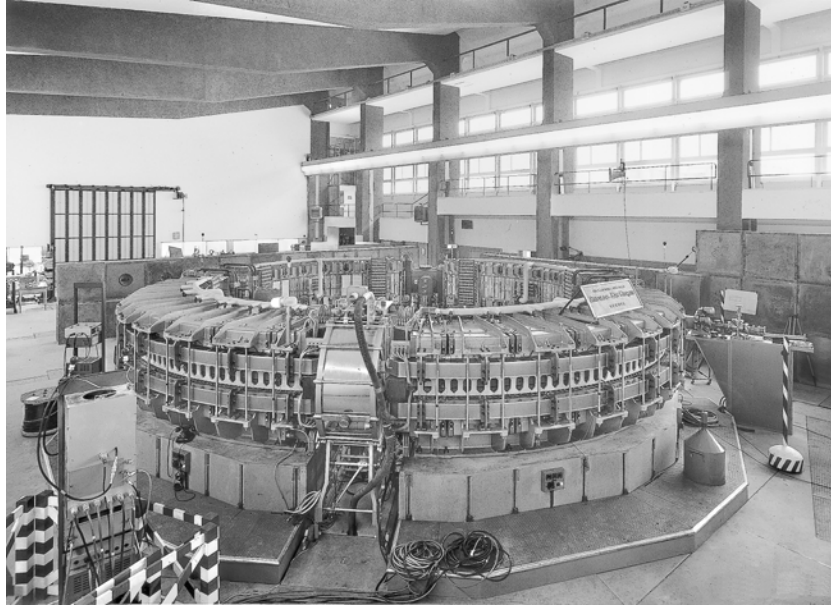


Figura 8.7: L'Eletrosincrotrone dei Laboratori Nazionali di Frascati (Archivio Foto Video L.N.F.).

a 10^{-10} mmHg, definito ultra-vuoto, 1000–10000 volte inferiore rispetto a quello necessario al funzionamento del sincrotrone.

I primi impianti per ultra-vuoto erano stati costruiti con comuni pompe a diffusione di olio sormontate da più “trappole” raffreddate ad aria liquida che, condensando le particelle più volatili dell’olio, evitavano la loro diffusione nel recipiente da vuotare. La tensione di vapore dell’olio rappresentava il limite di pressione ottenibile. Ben presto questa soluzione fu abbandonata perché presentava molti inconvenienti. Nella letteratura scientifica cominciarono a essere pubblicati articoli che proponevano di costruire pompe per ultra-vuoto che sfruttassero la proprietà di assorbimento di gas da parte di sottili strati ottenuti con l’evaporazione, sulla parete di un recipiente, di particolari metalli *getters*. Questa tecnica era da tempo comunemente usata nella costruzione delle valvole termoioniche per eliminare i gas residui dopo che queste erano state prevuotate e sigillate.

Alla temperatura ambiente, un sottile strato di tali metalli, ottenuto per evaporazione sulle pareti di un recipiente sotto vuoto, forma composti chi-



Figura 8.8: A sinistra, con gli occhiali scuri, Giorgio Ghigo, di spalle Giorgio Salvini e Italo Federico Quercia, a destra Edoardo Amaldi e accanto a lui Felice Ippolito (Archivio Foto Video L.N.F.).

mici stabili con le molecole dei gas attivi residui che vengono a contatto con esso. Lo strato metallico si comporta come una pompa la cui velocità di aspirazione dipende dalla dimensione della superficie e dal tipo di *getter*. Quando questo strato si avvicina alla saturazione, la velocità di aspirazione si riduce gradualmente. Erano già allo studio diversi metodi che permettevano di avere superfici sempre attive, quindi con velocità di aspirazione costante nel tempo. Il metallo *getter* comunemente usato per la realizzazione di questo tipo di pompe era il titanio sia per l'elevata capacità di assorbimento dei gas, sia per ragioni di facile approvvigionamento. Le soluzioni proposte per l'evaporazione del titanio erano sostanzialmente due: l'effetto Joule e la scarica alla Penning. Una pompa ad effetto Joule conteneva al suo interno un filo di titanio, avvolto su un rocchetto, e un meccanismo di svolgimento che periodicamente avvicinava l'estremità dello stesso filo ad una sorgente di calore.

La pompa a scarica di Penning, invece, richiedeva al suo interno due elettrodi. Dopo aver eseguito prove su una pompa ad effetto Joule, decisi di dedicarmi alla costruzione di una pompa a ionizzazione tipo Penning, che, data la sua semplicità, ritenni più affidabile. Questa pompa è composta da

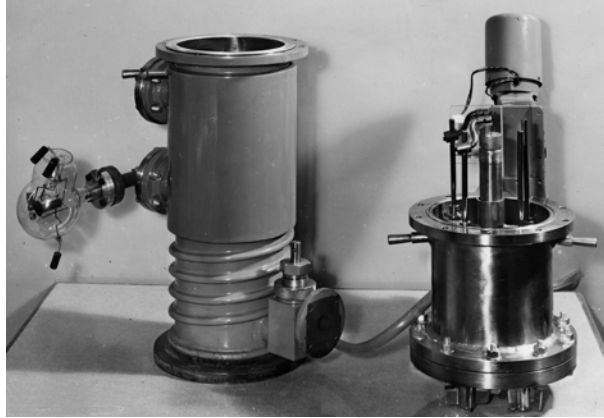


Figura 8.9: Pompa al titanio ad effetto Joule costruita nel 1959 (Archivio Foto L.N.F.).

due piastre di titanio affacciate e collegate alla massa, fra le quali è inserito un anodo formato da celle di qualche centimetro di larghezza, mantenuto attraverso un passante elettrico ad una tensione di alcune migliaia di Volt. Essa è immersa in un campo magnetico le cui linee di forza sono parallele all'asse delle celle dell'anodo. Una volta che la pompa è stata prevuotata ad una pressione maggiore o uguale a 10^{-3} mmHg, e isolata, gli elettroni liberi presenti nel gas residuo, dovuti alla radioattività o ai raggi cosmici, sotto l'influenza del campo elettrico e magnetico oscillano tra i due catodi seguendo percorsi a spirale all'interno dell'anodo, collidendo con le molecole del gas residuo. In queste collisioni si liberano altri elettroni, provocando una scarica che si autosostiene fino a bassissime pressioni. Gli ioni prodotti nella scarica bombardano i catodi liberando atomi di titanio che con continuità si depositano sull'anodo e sulla parete della pompa formando lo strato *getter* desiderato. La velocità di aspirazione della pompa dipende dal numero di celle dell'anodo. Questo tipo di pompe sono divenute ormai da tempo un prodotto industriale.

Quando su proposta di Bruno Touschek fu decisa la costruzione di AdA (un anello di accumulazione per elettroni e positroni da 250 MeV per fascio) si formò un gruppo per la realizzazione del progetto. Con Bruno Touschek collaborarono Carlo Bernardini, Giorgio Ghigo ed io. Touschek e Bernardini definirono i parametri della macchina, Giorgio Ghigo si occupò del progetto del magnete, Giancarlo Sacerdoti si interessò della sua costruzio-



Figura 8.10: Da sinistra: Italo Federico Quercia, Giorgio Salvini e Gianfranco Corazza nella seconda metà degli anni cinquanta (Archivio Foto L.N.F.).

ne; io fui incaricato della realizzazione della camera dove si richiedeva un ultra-vuoto.

Per ottenere l'ultra-vuoto è necessario rimuovere i gas presenti sulla superficie e all'interno delle pareti dei metalli che costituiscono il recipiente da vuotare, perchè tali gas diffondendosi nel recipiente limitano il valore della pressione raggiungibile. La riduzione della quantità di questi gas si ottiene portando il recipiente, mantenuto sotto vuoto con pompe ausiliarie, ad una temperatura tra 150°C e 200°C , per diverse ore.

La camera da vuoto per AdA, essendo inserita in un campo magnetico costante, fu realizzata in acciaio inox; essa e tutti i suoi componenti furono costruiti in modo da sopportare il trattamento termico descritto.

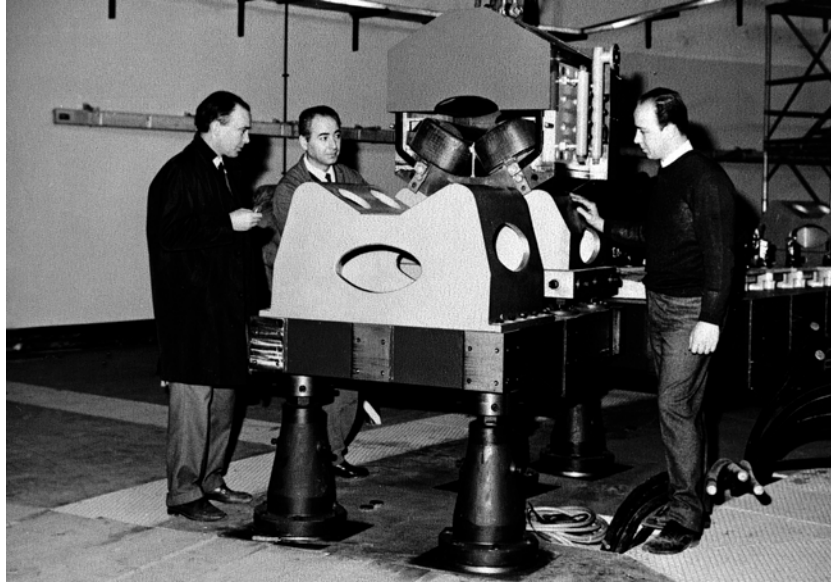


Figura 8.11: Bruno Touschek (a sinistra) nell'officina magneti (Archivio Foto Video L.N.F.).

Si dovettero realizzare flange di connessione con guarnizioni metalliche, passanti elettrici ceramica-metallo la cui saldatura veniva effettuata con una lega trivalente titanio-rame-argento, soffiotti lamellari a lunga estensione per il posizionamento all'interno della camera delle targhette per la conversione dei raggi gamma del sincrotrone (usato come iniettore) in elettroni e positroni da accumulare.

In questo periodo mi fu di grande aiuto Angelo Vitali che, da meccanico, si era trasformato in un valido tecnico del vuoto; lavorava sempre con grande impegno ed entusiasmo; in un tempo relativamente breve mi aiutò a risolvere tutti i problemi tecnici e a costruire le apparecchiature necessarie alla realizzazione dei componenti la camera a vuoto di AdA.

Per creare il vuoto potè essere utilizzata la pompa a ionizzazione tipo Penning che già da tempo funzionava in laboratorio

Nel maggio 1961 una prima camera da vuoto, completa della cavità a radiofrequenza progettata da Mario Puglisi, fu introdotta nel magnete di AdA ed ebbe così inizio lo studio per ottimizzare il processo di cattura e accumulazione di elettroni e positroni.

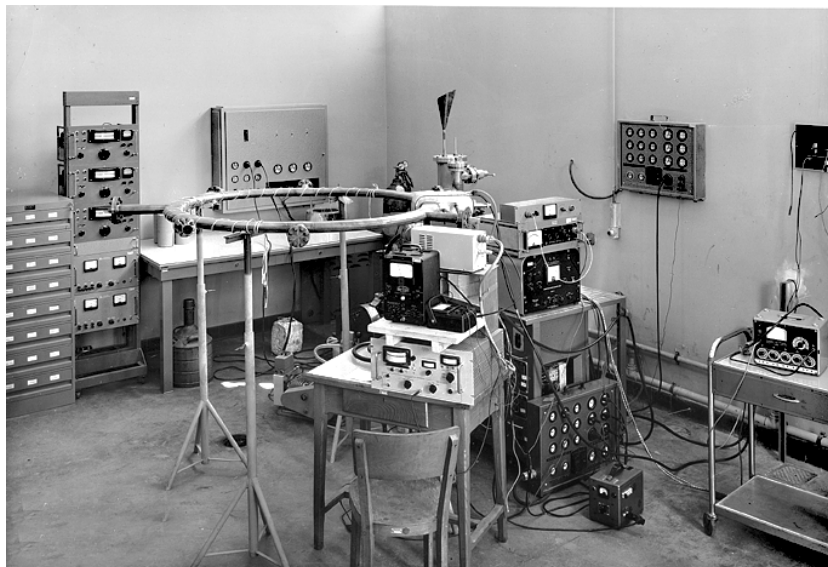


Figura 8.12: Camera da vuoto montata su AdA per le prime esperienze di accumulazione con elettroni e positroni, effettuate a Frascati nel 1961 (Archivio Foto Video L.N.F.).

L'intensità della luce di sincrotrone emessa dagli elettroni e dai positroni circolanti, letta con un fotomoltiplicatore attraverso finestre di quarzo inserite nella camera da vuoto, indicava l'intensità dei fasci accumulati. Con nostra sorpresa la luce emessa da un singolo elettrone era visibile ad occhio nudo.

Durante le prime prove AdA fu installata nella sala delle macchine di alimentazione del magnete dell'Elettrosincrotrone, montata su un traliccio mobile su rotaie per allineare le targhette di conversione al fascio gamma proveniente dal sincrotrone. In questa posizione AdA si trovava a una distanza di circa 10 m e, a causa della geometria del fascio, il rendimento di accumulazione risultò molto basso. Si pensò quindi di avvicinare il più possibile l'anello al sincrotrone. Per questo Giorgio Ghigo costruì un nuovo supporto, che chiamammo "girarrosto", il quale permetteva di ribaltare l'anello in modo da poter esporre ai gamma alternativamente le due facce di una targhetta e accumulare così i fasci di elettroni e positroni.

Anche questa nuova soluzione non permise di accumulare fasci di intensità sufficiente per passare alla sperimentazione sulla collisione elettrone-

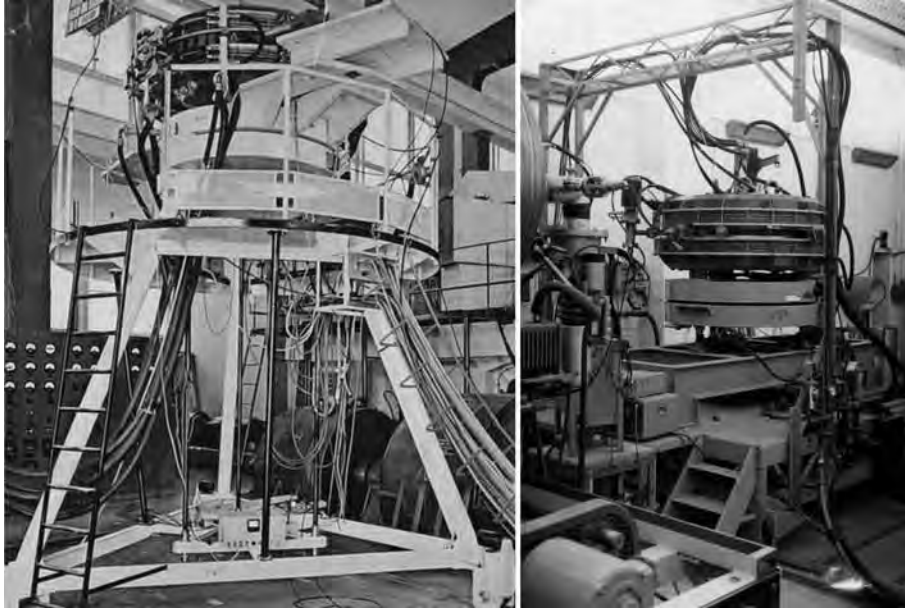


Figura 8.13: A sinistra: AdA sul suo supporto a traliccio nei Laboratori di Frascati. A destra: AdA sul supporto rotante a Orsay (Archivio Foto Video L.N.F.).

positrone.

In questo periodo venne in visita ai Laboratori di Frascati Pierre Marin, fisico della facoltà di scienze di Orsay (Parigi) il quale ci propose di portare AdA presso il loro laboratorio dove funzionava un acceleratore lineare da 1 GeV. Fu, grazie a Pierre Marin e al direttore di Orsay, che nel 1962 trasportammo AdA ad Orsay. Intanto si erano aggiunti al gruppo Giuseppe Di Giugno, Ruggero Querzoli e successivamente i fisici francesi Jacques Haïssinski e Pierre Marin.

L'anello che fu portato in Francia era montato sul "girarrosto" e conteneva una nuova camera da vuoto con una sola targhetta e una pompa a ionizzazione acquistata dalla ditta Varian. Nei primi tempi di lavoro ad Orsay capitò che, dopo aver accumulato un fascio e ribaltato l'anello per accumulare l'altro, spesso il fascio accumulato diminuiva bruscamente di intensità. Il fatto era preoccupante, e non si capiva il motivo del fenomeno.

Bruno Touschek e Pierre Marin, osservando il fascio attraverso le finestre della camera, scoprirono che ciò dipendeva dal fatto che polveri diama-

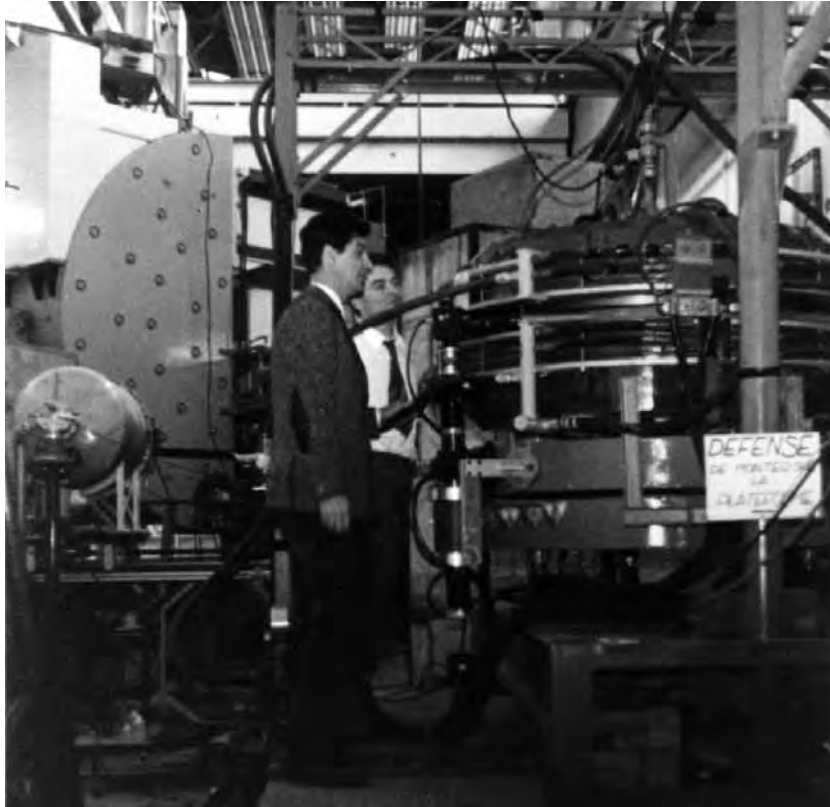


Figura 8.14: Gianfranco Corazza sulla piattaforma di AdA nei laboratori dell'acceleratore lineare di Orsay.

gnetiche, residui della lavorazione della camera o dei prodotti utilizzati per la pulizia, cadevano dalla parete superiore e, attraversando il fascio, lo distruggevano parzialmente.

Ritornati a Frascati, mentre discutevamo di questo problema con Ruggero Querzoli passeggiando nel piazzale davanti all'edificio del sincrotrone, per evitare il ribaltamento del magnete proposi di sostituire il "girarrosto" con un altro supporto che permettesse l'esposizione delle due facce della targhetta con una traslazione del magnete ed una sua rotazione di 180° intorno al proprio asse.

Passai subito alla progettazione e alla realizzazione di questo supporto con il valido aiuto di Antonio Marra, perito meccanico bravo, efficiente e di

poche parole, con il quale più tardi lavorai al progetto di Adone. Il supporto, appena costruito, fu spedito ad Orsay. Quando i colleghi francesi ci informarono che esso era arrivato, partii con Marra e Vitali per effettuarne l'istallazione.



Figura 8.15: Gianfranco Corazza si riposa sui sedili di un'auto durante una pausa di lavoro ad Orsay.

La sera del giorno successivo al nostro arrivo Carlo Bernardini mi telefonò per informarsi di come procedeva il lavoro. Ricordo la sua sorpresa quando gli dissi di prepararsi per tornare ad Orsay perchè tutto era pronto per riprendere la sperimentazione. L'apparecchiatura sperimentale comprendeva un contatore Čerenkov, un grosso cilindro di vetro al piombo di molte decine di chilogrammi che, causa l'esposizione alle radiazioni nella sala sperimentale, si opacizzò e divenne inutilizzabile. Si dovette interrompere la sperimentazione. Seguirono lunghe discussioni su come si potesse intervenire per poter eliminare l'inconveniente che si era creato. L'unica cosa da fare era ricuocere il vetro, portandolo ad una temperatura vicina al punto di rammollimento. Mi assunsi l'incarico di farlo. Il procedimento di ricottura doveva essere eseguito innalzando prima e diminuendo poi gradualmente la temperatura per evitare che tensioni interne al blocco di vetro potessero provocare fratture. Il Čerenkov fu portato a Frascati e questa operazione, che ebbe il risultato sperato, durò circa 48 ore.

Poichè l'acceleratore lineare veniva messo a nostra disposizione a fine settimana; per lungo tempo il venerdì partivamo per Orsay e ritornavamo a Frascati il lunedì successivo.



Figura 8.16: I componenti del gruppo incaricato dell'installazione di AdA nei Laboratori dell'acceleratore lineare di Orsay, in un ristorante di Gif sur Yvette, nel 1962. Da sinistra: Antonio Marra, Giorgio Cortellessa (in visita), Mario Fascetti, Gianfranco Corazza (al centro), Ilio Bruno, Angelo Vitali e Giorgio Ghigo.

Gli anni del lavoro su AdA, che si prolungarono fino al 1964, furono per tutti noi molto impegnativi ma anche motivo di grande soddisfazione per i risultati ottenuti. AdA è stata all'origine di una nuova fase di ricerca nel campo delle alte energie basata sulla collisione di elettroni e positroni. Molti altri laboratori internazionali successivamente hanno costruito macchine funzionanti sullo stesso principio per varie energie di fasci circolanti.

8.6 Fisica delle alte energie: Adone e Super ProtoSincrotrone del CERN

Mentre ancora si stava sperimentando su AdA fu deciso di costruire un anello di accumulazione con energia di 1500 MeV per fascio a cui fu dato nome Adone (grande AdA). Per l'iniezione in Adone venne utilizzato un acceleratore lineare di elettroni predisposto anche per la creazione e accelerazione di positroni.

Ferdinando Amman fu incaricato della direzione del progetto. Da quel mo-

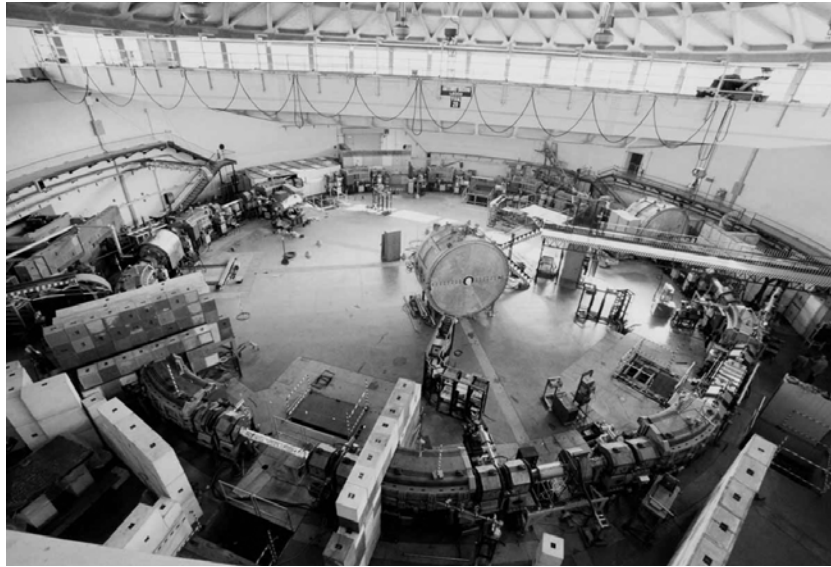


Figura 8.17: Adone in fase finale di assemblaggio (Archivio Foto Video L.N.F.).

mento io iniziai la collaborazione con Amman e mi impegnai nella progettazione meccanica di varie parti della macchina, in particolare della progettazione della camera e dell'impianto di vuoto.

Per la costruzione del magnete di Adone si presentò la difficoltà di trovare industrie disponibili ad accettare questo lavoro perché, a causa del *boom* economico, esse avevano molte commesse e non erano interessate a costruire pezzi diversi dai loro standard di produzione. Pertanto il magnete fu realizzato dalla Rade Končar di Zagabria. Fummo così costretti a frequenti viaggi in Jugoslavia per seguire l'avanzamento del lavoro. Aldo Cattoni e Massimo Placidi si fermarono poi a Zagabria per il controllo di accettazione dei blocchi del magnete ultimati, prima che venissero spediti a Frascati. La realizzazione dei componenti di Adone fu impegnativa ma non presentò grandi difficoltà poiché si poté fare tesoro dell'esperienza acquisita nella costruzione dell'Elettrosincrotrone e di AdA. La camera da vuoto fu costruita dalla SIAI Lerici-Milano in acciaio inossidabile; l'impianto da vuoto fu acquistato dalla ditta americana Halltech.

Adone entrò in funzione nel 1969.

Un giorno del giugno 1971, alle 3 di notte, ricevetti un telefonata da Mar-



Figura 8.18: Carlo Bernardini (a sinistra) e Edoardo Amaldi (a destra) (Archivio Foto Video L.N.F.).

cello Conversi con la quale mi informava che al CERN di Ginevra si stava discutendo sulla composizione del gruppo di lavoro per la costruzione del Super Protosincrotrone da 300 GeV (SPS) sotto la direzione di John Adams. Mi disse che avrebbe desiderato fare il mio nome, e mi chiese se fossi disposto ad accettare. Gli risposi che la proposta mi interessava.

Il mese successivo John Adams venne in visita ai Laboratori di Frascati, ebbe l'occasione di conoscermi e mi invitò a Ginevra per discutere sul compito da affidarmi. Durante la visita al CERN mi fu proposto di far parte del gruppo meccanico.

Accettai la proposta e nel settembre 1971 lasciai i Laboratori di Frascati per trasferirmi al CERN dove con mia sorpresa trovai fra i componenti del gruppo Boris Milman e Louis Bournod che avevo conosciuto ad Orsay, dove il primo era un dirigente del laboratorio, il secondo il responsabile dell'esercizio dell'acceleratore lineare.

Il gruppo meccanico del Super ProtoSincrotrone di cui facevo parte e al quale era affidata la progettazione costruttiva dei vari componenti della macchina, era composto di circa 60 unità tra ingegneri, progettisti, disegnatori, e disponeva di una officina meccanica.

Oltre a coordinare il lavoro del gruppo m'interessai della realizzazione, del collaudo e dell'installazione dei deflettori elettrostatici e magnetici per l'iniezione, di cui avevo seguito il progetto meccanico; progettai anche vari



Figura 8.19: Tunnel del Super ProtoSincrotrone. In primo piano uno degli 800 magneti bipolari (ciascuno lungo 6 m) per la guida del fascio. (Archivio CERN).

tipi di collimatori per le linee di trasferimento dei fasci di protoni. Particolarmente impegnativo fu il progetto di un sistema che permettesse il recupero e l'installazione di un magnete, appartenente a una linea di trasporto dei fasci verso le sale sperimentali, posizionato in una zona altamente radioattiva.

Per l'allacciamento del magnete all'alimentazione elettrica e al circuito di raffreddamento delle bobine furono studiati contatti predisposti tra il magnete ed il suo supporto, che venivano chiusi dalla pressione esercitata dal peso del magnete stesso su molle calibrate. Flange speciali per la camera da vuoto del magnete furono realizzate per poter essere allacciate alla linea con uno strumento appositamente costruito. Il magnete veniva preso con un paranco che si allacciava ad esso in modo automatico. Con queste apparecchiature il magnete poteva essere recuperato o installato con un carro ponte, in tutta sicurezza, controllando le operazioni da una sala di controllo attraverso una camera televisiva. Per questo lavoro mi avvalsi della valida

collaborazione di Melvin Hellefsplass, un ingegnere norvegese.

L'SPS entrò in funzione nel 1976. Pochi anni dopo, su proposta di Carlo Rubbia, venne modificato per funzionare anche come accumulatore di protoni e antiprotoni. Ciò gli permise di condurre l'esperimento che lo portò alla scoperta delle particelle W e Z^0 , per la quale, nel 1984, ricevette il premio Nobel.

Nel 1983, quando già circolavano voci secondo le quali le particelle cercate erano state osservate, un giorno mi trovai a pranzo con Giorgio Brianti (dirigente dei laboratori) e Giorgio Salvini che all'epoca si trovava al CERN e partecipava all'esperimento di Rubbia. Ricordo che Salvini diceva: "Sì, ci sono dei risultati; però prudenza, bisogna effettuare altri controlli, bisogna essere proprio sicuri prima di parlare di queste cose". All'uscita dalla mensa incrociai Rubbia che conoscevo da quando era studente a Pisa, il quale raggianti mi disse: "Ce l'abbiamo fatta!". Non aveva dubbi, era certo del risultato dell'esperimento.

Dal 1986 fino al mio pensionamento feci parte del "Gruppo Sicurezze" quale responsabile della meccanica. Questo gruppo esprimeva un giudizio preventivo sui progetti delle apparecchiature speciali da realizzare e successivamente provvedeva al loro collaudo prima della messa in esercizio. Era responsabile anche di tutte le apparecchiature per le esperienze provenienti dai Laboratori nazionali, che erano soggette alla stessa procedura preventiva di collaudo. Il gruppo aveva anche il compito di verificare che nelle varie attività di laboratorio fossero rispettate le norme di sicurezza sul lavoro.

Conservo un buon ricordo degli anni trascorsi al CERN, dove ho potuto svolgere un lavoro che mi ha soddisfatto professionalmente e dove il contatto con colleghi provenienti da varie nazioni europee mi ha arricchito dal punto di vista dei rapporti umani.

Tuttavia, ho un ricordo particolare dei Laboratori di Frascati, che ho visto crescere dal primo mattone. All'epoca del nostro insediamento molti lavori furono eseguiti nelle baracche lasciate dalle ditte che avevano costruito gli edifici; anche la mensa era situata in una baracca, e l'elenco del telefono era contenuto sulle due facce di un foglio.

Quando diversi anni fa ebbi occasione di visitare i Laboratori di Frascati, che avevo lasciato per il CERN di Ginevra, rimasi impressionato dalle dimensioni che essi avevano assunto: erano diventati una piccola città. Mi venne in mente una vecchia fotografia scattata mentre Carlo Bernardini ed io passeggiavamo sul piazzale davanti al portone d'ingresso dell'edificio

dell'Elettrosincrotrone, in attesa del Presidente della Repubblica Giovanni Gronchi che quella mattina veniva ad inaugurare l'entrata in funzione della macchina. Era l'anno 1959. Il piazzale, come appariva nella fotografia, era completamente sgombro e questo non per la visita del Presidente ma perché, a quell'epoca, per quanto mi ricordi, ai Laboratori esistevano solo tre automobili: una Fiat 1100 usata, di proprietà di Giorgio Salvini, una Fiat Topolino giardinetta di Italo Federico Quercia e una Fiat 1100 familiare di proprietà dei Laboratori, che veniva usata soprattutto per gli acquisti presso i nostri fornitori di Roma.



Figura 8.20: Uno scorcio dei Laboratori Nazionali di Frascati nella seconda metà degli anni Cinquanta (Archivio Foto Video L.N.F.)

A quell'epoca eravamo pochi, tutti giovani neolaureati, animati da spirito di collaborazione e da grande entusiasmo; l'unica nostra ambizione era quella di ottenere, sul lavoro, il miglior risultato. Si erano stabilite tra colleghi grande solidarietà e vera amicizia. Insomma, c'era veramente un'atmosfera speciale...

Capitolo 9

Giordano Diambri Palazzi

Nato a Fano il 17 maggio del 1926, laureato a Bologna nel 1952, Giordano Diambri ha dato inizio alla sua attività didattica e scientifica all'Università di Bologna, che lascia nel 1954 per trasferirsi a Frascati, dove partecipa all'impresa nazionale che, sotto la direzione di Giorgio Salvini, ha condotto alla realizzazione dell'Elettrosincrotrone da 1100 MeV. All'inizio del 1960 è nominato professore incaricato all'Università di Roma, mentre sta conducendo ricerche originali e di notevole rilievo internazionale con l'elettrosincrotrone di Frascati. Queste ricerche hanno infatti portato alla messa a punto di un nuovo metodo per produrre fasci di fotoni polarizzati di alta energia, metodo che poi è stato adottato in quasi tutti gli acceleratori di elettroni del mondo. Per queste ricerche gli viene assegnato il premio Ettore Majorana dalla Società Italiana di Fisica.

Per queste ed altre ricerche, ottiene la libera docenza nel 1961 e la cattedra di Fisica Superiore nel 1963 all'Università di Cagliari. Nel 1964 viene chiamato all'Università di Genova, dove ricopre la cattedra di Fisica generale fino al 1982, e dove dirige successivamente l'Istituto di Fisica Sperimentale, l'Istituto di Scienze Fisiche e la Scuola di Perfezionamento.

Nel 1968 viene invitato all'Università di Cornell quale vincitore di un fellowship per Senior Physicists conducendovi come primo responsabile un esperimento sulla fotoproduzione di mesoni ρ da raggi gamma polarizzati.

Tornato in Europa, partecipa con un gruppo di fisici dell'Università di Genova, da lui formato e diretto, ad un esperimento in collaborazione con Carlo Rubbia (premio Nobel 1984), da effettuare con l'Intersecting Storage Ring (ISR) al CERN. Dopo aver terminato questa ricerca, collabora con Sam Ting (premio Nobel 1976) nel 1974–1975 per il progetto e l'avvio di un altro esperimento con lo stesso acceleratore per la ricerca del bosone Z^0 . Subito dopo dirige al CERN un esperimento da lui proposto per la misura della vita media delle particelle dotate di un quark *charm*, mediante l'impiego di emulsioni nucleari accoppiate con uno spettrometro magnetico (esperimento WA58).

Dall'ottobre 1987 ricopre la Cattedra di Fisica Superiore all'Università di Roma "La Sapienza", resasi disponibile dopo la morte dell'illustre e compianto Professor Marcello Conversi. È dunque titolare del Corso di Fisica Superiore per studenti di Fisica del quarto anno, che si propone di introdurre gli studenti di Fisica di tutti gli indirizzi alla soglia dei problemi di frontiera della fisica subnucleare e della cosmologia. Il Corso ha destato un notevole interesse da parte degli studenti. Contemporaneamente inizia uno studio di fattibilità per la produzione e rivelazione di onde gravitazionali in laboratorio, per mezzo di acceleratori di particelle e laser di grande potenza.

Nel 1989 propone un esperimento per misurare con un metodo nuovo la luminosità dei fasci di elettroni e positroni in collisione frontale che viene poi realizzato con il nome di LEP-5.

A partire dal 1994 è responsabile nazionale di un esperimento che intende verificare la previsione della meccanica quantistica a livello macroscopico, utilizzando stati quantici superconduttori ottenuti con un sistema di SQUID (Superconducting QUantum Interferential Device). Negli anni 1994 e 1997 organizza due Conferenze internazionali dal titolo: "Phenomenology of Unification from Present to Future" tenute all'Università di Roma e all'Accademia Nazionale dei Lincei. Inoltre, nell'ambito di interessi culturali che coprono discipline quali la Storia della Scienza, l'Epistemologia, i modelli di sviluppo economico in rapporto alle fonti di energia, pubblica vari lavori e partecipa a incontri e convegni internazionali.

9.1 Attività di ricerca prima del 1970

Appena laureato (relatori di tesi G. Valle e Giampiero Puppi), negli anni 1952–1954, ho messo a punto un nuovo tipo di magnetometro di alta sensibilità per la misura delle variazioni del campo magnetico terrestre e venni chiamato ad esporlo in una esposizione di strumenti scientifici alla Sorbona di Parigi [A1].¹

Nel 1954–1959 ho partecipato alla costruzione dell'elettrosincrotrone di Frascati nel gruppo diretto dal Prof. Giorgio Salvini. Lo sviluppo di metodologie originali per misure di alta precisione dei campi magnetici, la proposta di un nuovo metodo per l'estrazione del fascio di elettroni [A2], il contributo alla discussione generale del progetto, costituiscono l'apporto della mia attività a tale impresa [A2]. In quel periodo ho pubblicato 12 lavori da solo e in collaborazione, in maggioranza sul *Nuovo Cimento* (anni 1954–1959). Tra il 1960 e il 1964, quale ricercatore dei Laboratori Nazionali di Frascati, dopo avere eseguito con altri 4 collaboratori misure di alta precisione dello

¹Per questa sezione si veda l'elenco A delle pubblicazioni.

9. *Giordano Diambrini Palazzi*

spettro di bremsstrahlung, ho proposto e progettato una serie di esperimenti originali su di un nuovo effetto di coerenza nella bremsstrahlung e nella produzione di coppie di elettroni-positroni ad alta energie in strutture cristalline. Questi esperimenti, realizzati insieme a un gruppo di ricercatori di Frascati (G. Bologna e G. P. Murtas e in seguito anche G. Barbiellini), hanno avuto completo successo [A3]. Infatti:

- 1) Hanno portato alla scoperta di picchi quasi monocromatici nello spettro della bremsstrahlung coerente non previsti e misurato la loro polarizzazione.
- 2) Hanno permesso la giusta elaborazione teorica del fenomeno in quanto la versione precedente non era corretta.
- 3) Hanno permesso la messa a punto di un nuovo metodo per produrre fasci di fotoni polarizzati ad altissima energia, metodo usato in quasi tutti gli elettrosincrotroni del mondo.



Figura 9.1: Da destra: Carlo Bernardini, Giorgio Salvini, Enrico Persico e, dietro a quest'ultimo, Giordano Diambrini Palazzi (dietro).

Lo sviluppo storico di questa scoperta è un interessante esempio della simbiosi tra congetture teoriche e risultati sperimentali che sono alla base del-

la conoscenza scientifica. Infatti ho sempre pensato che lo sviluppo della conoscenza scientifica possa essere spiegata con una breve metafora della evoluzione biologica darwiniana. Quest'ultima si definisce come la "selezione naturale delle specie mutanti", mentre la prima è definibile come "la selezione sperimentale delle teorie mutanti". Nei primi, e forse più importanti lavori teorici (*Phys. Rev.* 103, 1055, 1956, e *Phys. Rev.* 103, 1055, 1957) H. Überall ha rivelato un calcolo apparentemente completo con l'uso della approssimazione di Born, ottenendo risultati su sezioni d'urto e polarizzazione che avrebbero potuto essere confrontati con esperimenti da eseguire con elettrosincrotroni ad alta energia. Ma i primi risultati sperimentali risultarono in apparente contraddizione con quelli teorici! Infatti le misure condotte da Frisch e Olson (*Phys. Rev. Lett.* 3, 141, 1959) al sincrotrone della Cornell University mostravano un massimo di intensità della radiazione per certe orientazioni del cristallo, quando i calcoli teorici prevedevano un minimo. Un altro esperimento condotto da Pief Panofsky e Samir Saxena a SLAC (Stanford Linear Accelerator Center, California) condusse a risultati del tutto negativi (*Phys. Rev. Lett.* 2, 219, 1959).

Dopo una accurata lettura dei lavori teorici e sperimentali raggiunti la convinzione che la contraddizione tra i due fosse dovuta a una insufficiente risoluzione sia nelle misure degli angoli del cristallo usato sia nella misura delle energie della radiazione di bremsstrahlung.

Così alla fine del 1958, ho proposto un programma di ricerca sperimentale da realizzare all'elettrosincrotrone di Frascati da 1 GeV, il cui scopo finale era la produzione di un fascio di fotoni polarizzati utilissimo per esperimenti di fisica delle particelle.

Questi esperimenti, realizzati insieme a un gruppo di ricercatori di Frascati (G. Bologna e G. P. Murtas e in seguito anche G. Barbiellini), hanno per primi mostrato sia nella bremsstrahlung che nella produzione di coppie da cristalli di silicio e poi di diamante, l'atteso minimo previsto da Überall, anche se con qualche differenza.

Ma ulteriori dati sperimentali ottenuti con una migliorata risoluzione hanno portato alla scoperta di una struttura fine nello spettro di bremsstrahlung, non prevista dai lavori teorici precedenti. Così potemmo essere certi che l'approssimazione di considerare i piani cristallini come continui, usata nei calcoli precedenti, era inadatta per calcolare lo spettro di bremsstrahlung da 1 GeV e oltre, e che per ottenere risultati corretti occorreva tener conto della vera struttura dei piani cristallini. Così scoprimmo che lo spettro di

bremsstrahlung aveva grandi picchi con alta polarizzazione.

Pertanto effettuammo nuovi calcoli teorici, trovando un accordo completo con i nostri risultati sperimentali di alta precisione relativi sia alla forma dello spettro di bremsstrahlung da cristalli, sia alla polarizzazione dei suoi picchi. Questo metodo sperimentale fu usato per esperimenti di fotoproduzione in quasi tutti gli acceleratori di elettroni del mondo, presenti nei centri collegati alle Università di Stanford (SLAC, Stanford Linear Accelerator Center) Harvard e Cornell negli USA, poi di Tokio in Giappone, di Karkov (Ucraina, URSS), e Yerevan (Armenia, URSS) ed infine a Daresbury (Gran Bretagna) e a DESY (Germania). In molti laboratori, come DESY, Cornell University (USA), SLAC (USA), Harvard University (USA, MIT), Dubna (USSR), Yerevan Electron-Synchrotron Lab (Armenia), Tokyo Electron-Synchrotron Lab (Japan) sono stato chiamato per illustrare il progetto.

A parere di molti, questa ricerca ha rappresentato il più originale e importante contributo scientifico venuto dal sincrotrone di Frascati. Per queste ricerche mi è stato poi assegnato il premio Ettore Majorana dalla Società Italiana di Fisica.

9.2 Cornell University (1968–1970)

Negli anni 1968–1970, durante la mia permanenza nella Università di Cornell (stato di N.Y., USA), quale vincitore di un Senior Fellowship e poi quale visiting Professor, metto a punto un fascio polarizzato di bremsstrahlung da 10 GeV al fine di eseguire con responsabilità primaria due esperimenti di fotoproduzione di mesoni rho, dimostrando per la prima volta che questo bosone vettoriale conserva la polarizzazione del fotone. Durante la mia permanenza negli USA sono invitato a tenere seminari su questi risultati a Cornell, Harvard University, SLAC (Stanford Linear Accelerator Center). Durante la mia permanenza di circa due anni nell'Università di Cornell ho partecipato anche a un altro esperimento per la ricerca dei mesoni previsti da un modello teorico di G. Veneziano [A4].

In occasione del Memorial Celebration per Boyce D. McDaniel (11 giugno 1917– 8 maggio 2002) tenuto il 21 settembre 2002 al Dipartimento di Fisica della Cornell University, ricordando il numeroso scambio di fisici avvenuto tra il Newman Lab di Cornell e il nuovo acceleratore in costruzione a Frascati, Giorgio Salvini, direttore del progetto, ha così ricordato la mia at-

tività di quell'epoca: "I must recall Giordano Diambrini, who was our lead person for the measurements of the magnetic field in our delicate weak-focusing. He is today known for his success in preparing polarized gamma rays, and for the experiments with them. In 1968–1970 he was invited to Cornell by McDaniel, where he went with his wife Elena and their two children. He spent at Cornell, as he wrote, two of the best years of his life in the inspiring human atmosphere of Cornell. Giordano installed at Cornell a successful experiment on rho meson photoproduction, with Al Silverman, Dick Talman, Nari Mistri and others".

Salvini si riferisce alla lettera che avevo inviato a Boyce McDaniel in occasione del suo ottantesimo compleanno, nel giugno del 1997:

July 4, 1997

Dear Mac,

Giorgio told me about the next celebration of your 80th birth day anniversary. Notwithstanding I did not have occasion to meet you since many years, the memory of your fundamental contribution to the development of accelerator physics at Cornell and at Fermilab is always present in my memory. This period is connected with the interchange of visiting colleagues and friendship between Newman and Frascati Labs. This was also a merit of the scientific policy followed by the responsible physicists, like Bob Wilson and McDaniel at the Newman Lab, and Giorgio Salvini at Frascati Labs. Elena and myself met Jane and you first in Rome in the 60's and then at Elena House in Spoleto. Then you invited me at Cornell where we, Elena, myself, our sons Alex and Raffaello, spent two of the most happy years (1968–1970) of our life. As you remember I installed a coherent bremsstrahlung beam in order to perform, with Al Silverman and collaborators, an experiment on rho meson photoproduction by polarized gamma. Elena followed an "extramural" course on sculpture, who allowed her to follow a sculpture activity in parallel to that of writer. As a writer, she published her second novel "I Giorni dell'Attesa", where part of the story ambience is Itacha. In Cornell University we met an human ambience which was so warm that is impossible to forget. I like to remember the frequent exchanges of visits and receptions with many colleagues, and with you and Jane.

Dear Mac, apart all these personal reminiscences, I want to join my voice to the gratitude of the scientific community for your important contribution to the fundamental physics of this century.

With my best warm wishes and greetings, I am sincerely yours

9.3 Ricerca al CERN

Nel settembre 1970, tornato dagli Stati Uniti, ho iniziato ricerche al CERN a capo di un gruppo di giovani ricercatori di Genova, con cui ho eseguito un esperimento di scattering elastico all'ISR in collaborazione con Carlo Rubbia (primo responsabile dell'esperimento), i cui risultati sono pubblicati in due lavori [B1].²

Nel 1974 pubblicai un lavoro in cui si propone l'uso di un monocristallo per migliorare le caratteristiche dei fasci di elettroni al Super ProtoSincrotrone (SPS) del CERN; la proposta è stata effettivamente realizzata [B3].

Pubblicai, sempre sulla rivista *Physics Letters*(1975), due lavori teorici sulla *bremssstrahlung inversa* (il secondo in collaborazione con R. Barbieri e H. Strubbe) che dimostrano la possibilità teorica di un nuovo metodo di accelerazione [B2].

Progettai con Sam Ting, Karl Strauch e Panofsky un esperimento all'ISR per la ricerca del mesone Z^0 previsto dalla unificazione elettrodebole.

Nel 1977 progettai e proposi un esperimento, da eseguirsi al CERN, per la misura della vita media e dei meccanismi di produzione delle particelle dotate di un quark *charm* [B4]. L'idea di base consiste nel produrre queste particelle usando fotoni che interagiscono con i nuclei di emulsioni nucleari sottili che vengono rapidamente sostituite, al fine di evitare un fondo elettromagnetico troppo alto.

Questo esperimento, approvato dal CERN Committee con la sigla WA-58, venne portato a termine negli anni Ottanta da una collaborazione internazionale (Università di Bologna, Firenze, Genova, Parigi VI, Santander e Valencia, e Istituto Lebedev di Mosca, CERN) di cui fui spokesman e responsabile nazionale.

Durante i 6 anni di raccolta e analisi dati vennero ricostruiti e analizzati i decadimenti di circa 90 particelle con *charm*. Il risultato ottenuto per la vita media del barione *charmato* ΛC^+ , viene ancora utilizzato e citato nel *Particle Data Book* di Berkeley.

I risultati consistono nella rivelazione e ricostruzione di circa 90 decadimenti di particelle con *charm* che hanno permesso la misura delle vite medie dei

²Per questa sezione si veda l'elenco B delle pubblicazioni.



Figura 9.2: Esperimento WA-58. Contenitore per l'inserimento delle emulsioni nucleari (circa ogni 20 secondi) e guida di scorrimento.

mesoni *charmati* D^0 , D^+ , D^- e del barione Lambda C^+ . Sono state anche misurate le sezioni d'urto e confrontati modelli di fotoproduzione [B4]. In quegli anni la statistica accumulata ha posto questo esperimento al secondo posto nel mondo dopo quello eseguito al Tevatron di FermiLab (E-531). Questi risultati furono da me presentati nelle principali conferenze internazionali. Sono del 1987 le ultime due pubblicazioni sull'argomento. In parallelo è stata portata avanti un'altra ricerca, sempre al CERN, dove si sono sperimentate nuove tecniche per la rivelazione del decadimento di particelle con *charm* e *beauty*.³

³Mi è molto gradito ricordare nel seguito i nomi dei fisici dell'esperimento WA-58, con molti dei quali ho avuto legami di stretta amicizia. Tutti i componenti della Collaborazione si incontravano ogni anno in una delle università coinvolte nell'esperimento. Università di Roma "La Sapienza": G. Diambrini Palazzi; Università di Bologna: A. Forino, R. Gessaroli, A. Quareni e F. Viaggi; Università di Firenze: A. M. Cartacci, A. Conti, M. G. Daghiana, G. Di Caporiacco, A. Marchionni, B. Monteleoni-Conforto, G. Parrini; Università di Genova: M. Dameri, B. Osculati, M. Sannino, G. Tomasini; Università di Parigi VI: J. Lory, D. Schune, Tsai Chu, B. Willot; Università di Santander

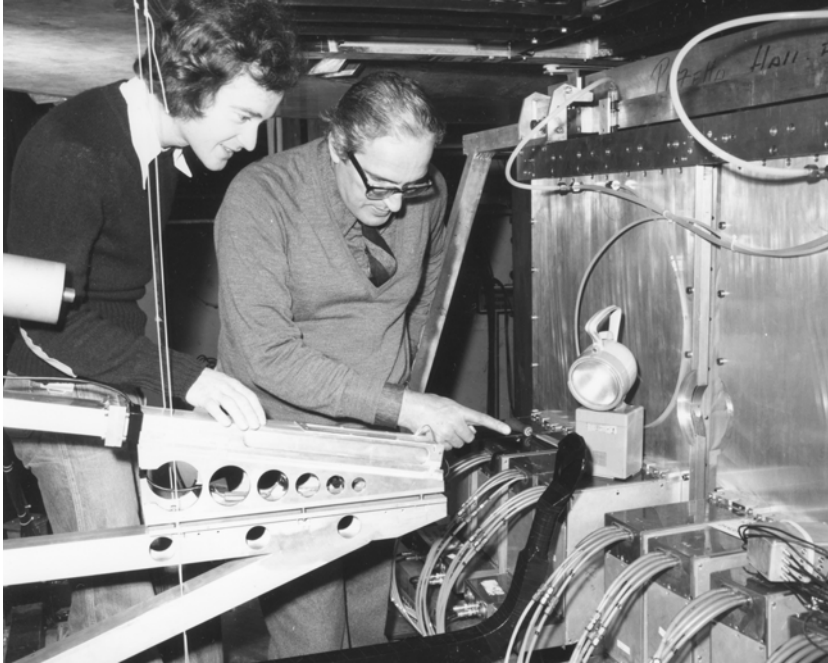


Figura 9.3: Esperimento WA-58.

9.4 Polarizzazione a SLAC e a LEP

Nel 1984–1985 mi sono interessato alla prospettiva di ottenere una polarizzazione longitudinale dei fasci di elettroni nell'acceleratore lineare per collisioni e^+e^- di Stanford (SLC). Infatti tale prospettiva, se realizzata, avrebbe permesso una verifica sperimentale approfondita del cosiddetto Standard Model. Pertanto, insieme con ricercatori di Roma e Genova, ho collaborato con il gruppo SLACPOL di Stanford per la messa a punto di una proposta per la polarizzazione ad SLC, presentata formalmente a SLAC nell'aprile 1986 e approvata.

Inoltre ho presentato il progetto di un nuovo tipo di monitor della polariz-

(Spagna): L. M. Bravo, B. Niembro, A. Ruiz, E. Villar; Università di Valencia (Spagna): J. M. Bolta, V. Castillo, J. Martinez, M. A. Sanchis; Istituto Lebedev di Mosca (USSR): M.I. Adamovich, Y. A. Alexandrov, M. M. Chernyavsky, S. G. Gerassimov, S. P. Kharlamov, K. M. Romanovskaya, V. G. Larionova, G. I. Orlava, M. I. Tretyakova; CERN: E. Higon, S. Tentindo, G. Vanderhaeghe.

zazione longitudinale degli elettroni. Ho presentato queste prospettive in un seminario tenuto nel Dipartimento di Fisica di Roma nel dicembre 1985. Nel frattempo le prospettive per ottenere una polarizzazione longitudinale al LEP divennero particolarmente incoraggianti negli anni '80. In realtà non vi sono problemi che non appaiono risolvibili con uno sforzo tecnico e finanziario ragionevole; pertanto, dalla fine del 1986 sono entrato a far parte del working group per la polarizzazione a LEP, costituito su richiesta del Direttore Generale del CERN, al fine di mettere a punto una relazione sulla necessità di conseguire la polarizzazione a LEP. Tale relazione è stata da me presentata al Comitato del LEP, che l'ha approvata.



Figura 9.4: *Present and Future of Collider Physics*, Roma, 20–22 settembre 1990: Giordano Diambrini Palazzi con Giorgio Tecce (foto Romolo Diotallevi).

9.5 Esperimento LEP–5

Nel 1988 ho proposto un esperimento per la misura, a LEP, della luminosità, della polarizzazione, (mediante la rivelazione della *bremsstrahlung* singola)

e della diffusione (con lo scattering Compton inverso) dei fotoni termici da parte dei fasci circolanti [B5].

L'esperimento, presentato assieme a G. De Zorzi venne approvato dal comitato del CERN il 6 aprile 1989 con il nome di LEP-5 ed è stato eseguito da un gruppo di 8 ricercatori dell'Università di Roma La Sapienza. Essi sono: C. Bini, D. De Pedis, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, P. Gauzzi, D. Zanello.

L'esperimento ha avuto pieno successo, con principali risultati:

- 1) Viene dimostrato che con questo metodo si possono eseguire misure di luminosità all'1% di errore statistico in pochi secondi.
- 2) Per la prima volta in un acceleratore vengono rivelati i fotoni termici della radiazione di corpo nero presenti nel tubo a vuoto dell'acceleratore e diffusi per effetto Compton inverso, determinando così il contributo di questa interazione alla vita media dei fasci circolanti di LEP.



Figura 9.5: *Present and Future of Collider Physics* (Roma, 20–22 settembre 1990). In prima fila Giordano Diambrini Palazzi e dietro di lui Robert Wilson, in piedi Ugo Amaldi; nella foto a destra Al Silverman prende appunti (foto Romolo Diotallevi).

9.6 Rivelazione di onde gravitazionali

Nel 1987 ho iniziato uno studio di fattibilità riguardante una ricerca sulle caratteristiche della radiazione gravitazionale prodotta con acceleratori di particelle e con laser di potenza, allo scopo di realizzare esperimenti in laboratori terrestri.



Figura 9.6: *Present and Future of Collider Physics*. Foto di sinistra, dall'alto: Luciano Maiani, Giorgio Salvini, Giordano Diambri Palazzi. Foto di destra: Chen Ning Yang (in prima fila), Giorgio Salvini, Gianni Jona-Lasinio, Luigi Radicati, Giordano Diambri Palazzi (in seconda fila, da sinistra), Silvano Petrarca, Ken Yoshida (in terza fila, da sinistra), Bruno Pontecorvo (in quarta fila, a destra). Foto Romolo Diotallevi.

In questi lavori vengono calcolati per la prima volta i parametri dell'emissione di radiazione gravitazionale da acceleratori di particelle ad alta energia e da laser di alta potenza. Vengono inoltre studiati i possibili metodi di rivelazione [C].

La ricerca dimostra che il gap tra la sensibilità di possibili rivelatori e l'intensità delle sorgenti considerate era molto più piccolo di quanto fino ad allora ritenuto. In particolare dimostro che il metodo basato sulla conversione gamma-gravitone-gamma è il più promettente.

In effetti tale esperimento rivestirebbe una importanza eccezionale, perchè dimostrerebbe l'esistenza della gravità quantistica e perchè sarebbe forse questo l'unico metodo per ottenere tale risultato.

9.7 Esperimento MQC (Macroscopic Quantum Coherence)

Nel 1992 ho proposto una ricerca per verificare sperimentalmente l'esistenza di uno stato coerente macroscopico con un sistema di SQUID (Supercon-

ducting QUantum Interference Device).⁴

A partire dal 1994, sono diventato responsabile nazionale dell'esperimento proposto e successivamente approvato dall'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare). La realizzazione degli SQUID si è svolta in collaborazione con il Laboratorio IESS del CNR.

Ho presentato la proposta in diversi Congressi Internazionali dove si discutevano discusse tematiche vicine alla proposta (Chia 1992, Trani 1992) e alla Commissione II dell'INFN (Ottobre 1992). La Commissione II dell'INFN e l'Istituto IESS (Istituto di Elettronica dello Stato Solido) del CNR hanno approvato la proposta.

La preparazione e le prese dati dell'esperimento si sono svolte da parte di una Collaborazione di fisici dell'INFN e dello IESS (CNR).

Dal 1994 sono stato responsabile nazionale dell'esperimento, approvato con la sigla MQC (Macroscopic Quantum Coherence). Lo scopo dell'esperimento era di osservare e misurare l'evoluzione nel tempo della sovrapposizione coerente di due distinti stati quantici macroscopici, in uno SQUID con un potenziale simmetrico dotato di due minimi separati da una barriera di altezza variabile.

I risultati sperimentali non solo hanno confermato la validità delle leggi della Meccanica Quantistica per stati quantici macroscopici, ma hanno aperto la via per lo studio di possibili applicazioni per la realizzazione di Quantum Computer. È nato così un nuovo progetto per lo studio di un Superconductor Quantum Computer (SQC), ora diretto da Carlo Cosmelli.

9.8 Ricerche su storia della scienza, epistemologia e problemi cosmologici

Su invito del prof. Edoardo Amaldi sono stato (il primo) professore incaricato di storia della fisica all'Università di Roma negli A. A. 1959–1960 e 1960–1961, curando una edizione di dispense su questa materia.⁵

Nel 1972 ho pubblicato un lavoro sulla rivista *Physis*, Rivista Internazionale di storia delle Scienze, nel quale ho elaborato un modello epistemologico–matematico dello sviluppo scientifico e tecnologico. Poi ne ho confrontato i risultati con i dati storici dello sviluppo dell'elettromagnetismo classico

⁴Si veda l'elenco D delle pubblicazioni.

⁵Si veda l'elenco E delle pubblicazioni.

e con quelli dello sviluppo tecnologico, sempre nel XIX secolo, ottenendo una notevole conferma del modello stesso. Questo lavoro era già stato presentato e discusso nel 1971 alla Scuola estiva E. Fermi della SIF [E1].

In occasione del centenario Copernicano (1973) ho tenuto due conferenze sulla vita e l'opera di Nicolò Copernico a Genova, sede dell'UIPC (Unione Italiana per il Progresso della Cultura), e a Firenze (nel Centro di Filosofia e Storia della Scienza diretto da Toraldo di Francia).

Queste conferenze, ed altre che seguirono, sono il risultato di uno studio rivolto alle cause delle grandi mutamenti storici della scienza, basato sul confronto tra Popper e Kuhn.

Ho letto due relazioni scientifiche all'Accademia Ligure delle Scienze, di cui sono socio dal 1972, una sull'energia disponibile sulla Terra e l'altra sullo sviluppo scientifico e la posizione dell'uomo pubblicata negli Atti dell'Accademia [E1].

Ho partecipato a una tavola rotonda al Palazzo Barberini coi Proff. Buzzati Traverso, Cappelletti e Ceccato nel 1976 sul tema Scienza ed Etica [E1].

Ho tenuto due affollate conferenze al Centro Linceo Interdisciplinare su: "Aspetti fenomenologici della fisica subnucleare e l'origine dell'Universo" e "L'origine dell'Universo e le premesse cosmologiche allo sviluppo della vita sulla Terra".

Inoltre ho tenuto due relazioni su invito al Simposio "Cos'è il Pensiero? L'unità dell'Essere", anch'esso tenuto al Centro Linceo su problemi generali concernenti la fisica delle particelle nei modelli di sviluppo scientifico [E2].

Ho tenuto un seminario al Corso di perfezionamento in Storia della Scienza dell'Università di Roma (1984) e relazioni su invito a Convegni promossi dalla rivista *La Nuova Critica* (1985).

Quasi tutti questi contributi sono pubblicati [E2, E3].

Ho anche proposto e organizzato due Conferenze internazionali dal titolo: "Phenomenology of Unification from Present to Future" tenute all'Università di Roma e all'Accademia Nazionale dei Lincei negli anni 1994 e 1997 [E4].

In particolare mi sono interessato ai problemi sollevati dalla crisi energetica e al modello di sviluppo di Forrester-Meadows del MIT, sviluppato su iniziativa del Club di ROMA presieduto da A. Peccei. In questo ambito ha curato la rielaborazione di un modello per il calcolo della durata delle risorse naturali, in modo da permettere l'introduzione del costo dell'energia come variabile indipendente [E1].

9. Giordano Diambri Palazzi

Ho tenuto varie lezioni sull'analisi dei sistemi e le equazioni di Volterra alla scuola dell'ENI di Urbino (curata dal Prof. G. Puppi).



Figura 9.7: Giordano Diambri Palazzi con Eduardo Caianiello (a sinistra) nella seconda metà degli anni Ottanta.

Bibliografia

Lavori più significativi pubblicati prima del 1970

[A1] G. Diambri Palazzi, Lo sviluppo della tecnica dei magnetometri elettronici a “fluxgate”, *Nuovo Cimento* 11, 1954, 521–532.

[A2] G. Diambri Palazzi, Sull'estrazione del fascio di elettroni dal Sincrotrone italiano mediante risonanze con fase di ingresso a 90° in due zone di campo magnetico alternato (Metodo Ping-Pong), Relazione T-33, 9 dicembre 1957, INFN Laboratori di Frascati.

[A3] L'inizio dell'attività in fisica delle alte energie è documentata con due lavori sulla misura dello spettro di bremsstrahlung del sincrotrone di Frascati: G. Diambri Palazzi, A. S. Figuera, B. Rispoli, A. Serra, Risultati preliminari sulla determinazione dello spettro di bremsstrahlung dell'elettrosincrotrone di Frascati, *Nuovo Cimento* 15, 1960, 500; G. Diambri Palazzi, A. S. Figuera, B. Rispoli, A. Serra, Bremsstrahlung spectrum of the 1100 MeV electron synchrotron at Frascati, *Nuovo Cimento* 19, 1961, 250. Studio della bremsstrahlung e produzione di coppie

elettrone–positrone coerenti in monocristalli, produzione di fasci gamma quasi monocromatici e polarizzati ad alte energie: G. Bologna, G. Diambri Palazzi, G. P. Murtas, Electron pair production at high energy in a single crystal, *Physics Review Letters* 4, 1960, 134; G. Bologna, G. Diambri Palazzi, G. P. Murtas, High energy bremsstrahlung from a silicon single crystal, *Physics Review Letters* 4, 1960, 572; G. Barbiellini, G. Bologna, G. Diambri Palazzi, G. P. Murtas, Production of quasi–monochromatic gamma ray beam from multi–GeV electron accelerators, *Physics Review Letters* 8, 1962, 112; G. Barbiellini, G. Bologna, G. Diambri Palazzi, G. P. Murtas, Experimental evidence for a quasi–monochromatic bremsstrahlung from the Frascati electron synchrotron, *Physics Review Letters* 8, 1962, 454; G. Barbiellini, G. Bologna, G. Diambri Palazzi, G. P. Murtas, Measurement of the polarisation of the 1 GeV gamma ray beam from a diamond crystal radiator, *Physics Review Letters* 9, 1962, 396; G. Barbiellini, G. Bologna, G. Diambri Palazzi, G. P. Murtas, Crystal method for measuring the linear polarization of photons in the multi–GeV region, *Nuovo Cimento* 28, 1963, 436. Su questi argomenti ho pubblicato due lavori di rassegna: G. Diambri Palazzi, Interazioni di fotoni ed elettroni di alta energia in cristalli, *Nuovo Cimento*, Supplemento al Vol. 25, 1963, 88–99; G. Diambri Palazzi, High Energy Bremsstrahlung and Electron Pair Production in thin Crystals, *Reviews of Modern Physics* 40, 1968, 611.

[A4] L'attività di ricerca a Cornell ha riguardato la messa a punto un fascio gamma polarizzato dal sincrotrone di 10 GeV di Cornell; inoltre sono stati misurati i rapporti di asimmetria in idrogeno e carbonio e trovati consistenti con la natura diffrattiva della fotoproduzione del mesone Rho: Diambri Palazzi G., McClellan N., Mistry P., Mostek H., Ogren J. Swartz e R. Talman, Photoproduction of Rho mesons from hydrogen and carbon by linearly polarized photons, *Physical Review Letters* 25 (7) 1970; Diambri Palazzi G., McClellan N., Mistry, P., Mostek H., Ogren A., Osborne A., Silverman J., Swartz e R. Talman, Search for mesons suggested by the Veneziano model, *Physical Review Letters* 23 (13) 1969; G. Diambri Palazzi, G. McClellan, N. Mistry, P. Mostek, H. Ogren, Incoherent photoproduction of Rho mesons from complex nuclei and comparison with vector dominance prediction, *Physical Review Letters* 23 (10) 1969.

Ricerche eseguite al CERN dopo il 1970

[B1] Small angle proton–proton elastic scattering at very high energies, *Physics Letters* 39 (5) 1972; Experimental observation of the angular distribution of charged particles produced by proton–proton collisions at very high energies, *Physics Letters* 39B (2) 1972).

[B2] G. Diambri Palazzi, The high energy inverse bremsstrahlung and self–acceleration of high density electron beams crossing a target, *Physics Letters* 57B (5) 1975; R. Barbieri, G. Diambri Palazzi e H. Strubbe, Inverse bremsstrahlung process transition probability, *Physics Letters* 61B (2) 1976).

[B3] G. Diambrini Palazzi, E. Menichetti e A. Santroni, On the use of coherent electron–pair production and bremsstrahlung from a 400 GeV proton–synchrotron, *Nuclear Instruments and Methods* 126, 1975, 369.

[B4] Esperimento WA–58 sulla fotoproduzione di particelle con *charm* nel corso dei quali sono stati rivelati e ricostruiti 90 decadimenti di particelle con *charm*; determinate le vite medie di D^0 , D^+ , D^- e ΛC^+ . Pubblicazioni firmate dalla Photon–Emulsion Collaboration di WA–58: *Physics Letters* 89B, 1980 (primo evento D^0 trovato in WA–45); *Physics Letters* 99/B, 1981, 427 (primi 5 eventi doppi trovati in WA–58); *Lettere al Nuovo Cimento* 30, 1981, 166 (Prima osservazione diretta della produzione associata di un mesone con un barione, entrambi con *charm*); *JEPT*, Ottobre 1981 (prima osservazione di una coppia D^0 –anti D^0); Silicon telescopes as charm decay detectors, *Nuclear Instruments and Methods* 201, 1982, 329 (Sperimentazione di un nuovo tipo di detector per decadimenti di *charm*); Photoproduction of Charmed Particles in Nuclear Emulsions coupled to the Omega–prime Spectrometer, *Nuovo Cimento* 85A, 1985, 241–261; CERN/EP–86/77–REV–16–giugno 1986 (preprint del CERN poi pubblicato nel *Soviet Journal of Nuclear Physics*, presenta i risultati relativi a 12 ΛC^+ rivelati in produzione associata con anti– D); *Physics Letters* 187B, 1987, 437 (vengono dati valori delle sezioni d’urto e viene studiato il meccanismo di fotoproduzione di *charm*); Measurement of charmed particle lifetimes and decay branching ratios, *Euro Physics Letters* 4, 1987, 887. Relazioni tenute alle seguenti Conferenze internazionali, pubblicate nei rispettivi Proceedings: XX International Conference in High Energy physics (Madison, Wisconsin, 17–23 luglio 1980); Europhysics Study Conference in High Energy Physics (Erice, Sicilia, 19–22 novembre 1981); XXI International Conference in High Energy physics (Parigi, 26–31 luglio 1982); International Conference on Heavy Quarks (San Miniato, Italia, 25–28 Maggio 1987). Inoltre ho scritto un lavoro di rassegna: G. Diambrini Palazzi, Charm Particles, Proceedings of NATO Advanced Research Workshop on Relativistic Channelling (Acqua Fredda di Maratea, Italia, 31 marzo–4 aprile 1986) 369–377.

[B5] Esperimento per la misura, a LEP, della luminosità, della polarizzazione: C. Bini, D. De Pedis, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, P. Gauzzi, D. Zanello, Scattering of thermal photons by a 46 GeV positron beam at LEP, *Physics Letters B* vol. 262, 1991, 135; C. Bini, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, P. Gauzzi e D. Zanello, Fast measurement of luminosity at LEP by detecting the single bremsstrahlung photons, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*306, 1991, 467–473; C. Bini, D. De Pedis, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, P. Gauzzi, D. Zanello, Fast Luminosity Monitor at LEP, CERN preprint accettato per la pubblicazione in *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*; A. Asmone, M. Bertino, C. Bini, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, F. Garufi, P. Gauzzi e D. Zanello, Performances of a scintillating fibers electromagnetic calorimeter, Proceeding of the 5th Pisa

Meeting on Advanced Detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 315, 1992, 327; A. Asmone, M. Bertino, C. Bini, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, F. Garufi, P. Gauzzi e D. Zanello, Performances of a highly segmented scintillating fibers electromagnetic calorimeter, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 326, 1993, 477–482.

Ricerca sulle caratteristiche della Radiazione Gravitazionale prodotta con acceleratori di particelle e con laser di potenza

[C] G. Diambrini Palazzi e D. Fargion, *Physics Letters B*, 1987, 22 Ottobre; G. Diambrini Palazzi, On the production and detection of gravitational waves from artificial sources, CERN–EP/88–112, 1988; G. Diambrini Palazzi, Produzione e rivelazione di onde gravitazionali da sorgenti artificiali, *Il Nuovo Saggiatore* 4, 1988, luglio–agosto, 51–62; G. Diambrini Palazzi, Gravitational Radiation Produced by High Energy Accelerators and High Power Lasers in *Particle Accelerators*, 1990–Vol. 33, 195–205, Gordon and Breach Science Pub. Inc.; P. Chen, G. Diambrini Palazzi, K. J. Kim e C. Pellegrini, On the production of gravitational radiation by Free Electron Lasers and the detection problem, Proceedings of Workshop on Beam–Beam and Beam–Radiation interactions (UCLA 13–16 maggio, 1991).

Ricerca per la verifica sperimentale dell’esistenza di uno stato coerente macroscopico con un sistema di SQUID

[D] C. Cosmelli e G. Diambrini Palazzi, Proposal of an Experiment for Detecting Macroscopic Quantum Coherence with a System of SQUIDS, Proposal to INFN, Roma, September 1993, e Addendum, Roma, novembre 1993, non pubblicato; C. Cosmelli, P. Cappelletti, P. Carelli, M. G. Castellano, F. Chiarello, G. Diambrini Palazzi, R. Leoni, N. Milanese, G. Torrioli, Superconducting Devices to Test Macroscopic Quantum Coherence on the Flux States of an Rf SQUID, *Proceedings of the International Workshop Macroscopic Quantum Coherence and Quantum Computing (MQC2)*, Kluvert Academic Plenum Publishers, Napoli, 14–17 giugno 2000; G. Diambrini–Palazzi, Perspectives of an Experiment for Detecting Macroscopic Quantum Coherence, *Journal of Superconductivity* 12, 767 (dicembre 1999); C. Cosmelli P. Carelli, M. G. Castellano, F. Chiarello, G. Diambrini–Palazzi, R. Leoni, G. Torrioli, Measurement of the intrinsic dissipation of a macroscopic system in the quantum regime, *Physical Review Letters* 82, 1999, 5357; M. G. Castellano, R. Leoni, G. Torrioli, F. Chiarello, C. Cosmelli, A. Costantini, G. Diambrini–Palazzi, P. Carelli, R. Cristiano, L. Frunzio, Switching dynamics of Nb/AlOx/Nb Josephson junctions: measurements for an experiment of Macroscopic Quantum Coherence, *Jour. of Appl. Phys.* 80, 1996, 2922; MQC Collaboration, MQC: An Experiment for Detecting Macroscopic Quantum Coherence with a system of

SQUIDS in D. Greenberger e A. Zeilinger (a cura di) *Fundamental Problems in Quantum Theory*, The New York Academy of Sciences, 845, New York, 1995; MQC Collaboration, Experimental Detection of Macroscopic Quantum Coherence with SQUIDS: State of Art and Preliminary Tests on High Quality Josephson Junctions, *Proceedings of 1st International Workshop on Macroscopic Quantum Effects in Josephson Junctions*, Frascati, 3–5 marzo 1995; MQC Collaboration, Low Temperature Behaviour of Josephson Junctions for the MQC Experiment, *Proceedings of European Conference on Applied Superconductivity*, Edimburgo, giugno 1995.

Ricerche e conferenze su epistemologia, storia della scienza, e problemi cosmologici

[E1] G. Diambrini Palazzi, *Physis*, Anno XIV, 1972, 375–394; G. Diambrini Palazzi, Lo Sviluppo Scientifico e la Posizione dell’Uomo, *Atti dell’Accademia Ligure di Scienze e Lettere XXV*, 1978, 1–19 (Presentata alla seduta dell’Accademia Ligure di cui L’A. è socio); Vincenzo Cappelletti, Adriano Buzzati-Traverso, Giordano Diambrini Palazzi, Silvio Ceccato, Scienza ed Etica, Tavola Rotonda tenuta a Palazzo Barberini (Roma) per iniziativa dell’UIPC (Unione italiana per il progresso della Cultura), Quaderno UIPC 1978.

[E2] G. Diambrini Palazzi, Le premesse cosmologiche allo sviluppo della vita sulla Terra, Contributi del Centro Linceo Interdisciplinare dell’Accademia Nazionale dei Lincei (n. 64), IX seminario sull’evoluzione biologica e i grandi problemi della biologia, febbraio 1983; G. Diambrini Palazzi, La rappresentazione del mondo subnucleare nella mente dell’uomo contemporaneo, *Atti del Convegno Che cosa è il pensiero? L’unità dell’essere*, promosso dal Centro Linceo Interdisciplinare dell’Accademia Nazionale dei Lincei, maggio 1984; G. Diambrini Palazzi, Lo sviluppo della conoscenza scientifica, *Atti del Convegno Che cosa è il pensiero? L’unità dell’essere*.

[E3] G. Diambrini Palazzi, Fisica, cosmologia e vita intelligente, *Atti del Convegno Razionalità e storicità* patrocinato dalla rivista *La Nuova Critica*, tenuto al CNR nel 1983; G. Diambrini Palazzi, L’Universo autoconoscitivo, *Atti del Convegno Science and Life*, Università di Tor Vergata, 28–30 novembre 1985, *La Nuova Critica* 1–2, 1987 (Alfamedia, Roma); G. Diambrini Palazzi, Cosmologia, costanti universali e principi antropici, *Atti del Convegno Modelli Scientifici della Realtà Fisica* Università di Tor Vergata, *La Nuova Critica*, Quaderno 13–14, 1990.

[E4] G. Diambrini Palazzi, On Features and meaning of scientific knowledge, *Proceedings del III Simposio internazionale su Conceptual tools for understanding nature*, SISSA, Trieste 21–23 giugno 1995; G. Diambrini Palazzi, On developing of scientific knowledge and the change of the human condition, *Proceedings della XI Lomonosov Conference su Elementary particle physics e su Intelligenza and Education* alla Moscow State University: 21–27 agosto 2003 (a cura di Alexander Studenikin, World Scientific, Singapore).

[E5] Phenomenology of Unification from Present to Future, conferenze tenute all'Università di Roma e all'Accademia Nazionale dei Lincei negli anni 1994 (26-24 marzo, atti a cura di G. Diambrini Palazzi, C. Cosmelli, G. Martinelli, L. Zanello, 1994, World Scientific) e 1997 (21-24 aprile, atti a cura di G. Diambrini Palazzi, C. Cosmelli, L. Zanello, 1997, World Scientific).

Capitolo 10

Franca Magistrelli

Franca Magistrelli è nata a Roma il 15 settembre del 1927 e si è laureata in Fisica presso l'Università di Roma 'La Sapienza' nel 1951, conseguendo la libera docenza in Fisica Generale nel 1966. All'Istituto di Fisica di Roma, dal 1951 al 1957 si è occupata di datazione di materiali archeologici con il metodo del C^{14} e contemporaneamente ha svolto un'attività sperimentale riguardante l'ottica elettronica con Enrico Persico.

Dal 1957 ha poi collaborato strettamente con Bruno Brunelli nella formazione dei Laboratori Gas Ionizzati che si sono trasferiti a Frascati nel 1960. In questi laboratori ha svolto un'attività sperimentale riguardante la fisica del plasma.

Dal 1981 collabora con Bruno Coppi nell'ambito del progetto Ignitor.

Dal 1983, fino al pensionamento, è stata Direttore Responsabile della rivista *VUOTO, Scienza e Tecnologia*, organo ufficiale dell'AIV (Associazione Italiana Vuoto)

10.1 Premessa

Riempire un certo numero di pagine per raccontare una carriera professionale che di per sé non ha nulla di speciale può sembrare senza senso. E nel mio caso specifico si tratta effettivamente di una attività scientifica del tutto normale, se non per il fatto di essere stata svolta, credo di poter dire, con grande impegno ed onestà. Però, a pensarci bene, nello svolgere il mio lavoro sono venuta in contatto con vari ambienti e con tante persone, alcune delle quali veramente eccezionali. E sono stata coinvolta in eventi



Figura 10.1: Gruppo di studenti e tecnici dell'Istituto di Fisica nel piazzale della Minerva (fine settembre 1948). Da sinistra: Magda Sansone, Franca Magistrelli, anonimo, Rosa Massa, Maurizio Galiani, Mendola, Claudio Sgarbi, Franco Ronchei, Adriana De Angelis. A destra si intravede l'Istituto di Fisica "Guglielmo Marconi". Da notare l'assoluta assenza di automobili.

che, positivi o negativi che fossero, hanno avuto un peso nello sviluppo della ricerca italiana. E quindi credo che possa valere effettivamente la pena di raccontare la mia storia professionale, se intesa come testimonianza su fatti e personaggi di rilievo, nonché sull'evolversi negli anni dello stile di conduzione della ricerca, in particolare in Italia.

Sono nata a Roma nel 1927 e ho sempre vissuto a Roma dove ho quindi compiuto i miei studi. Ho conseguito la licenza liceale classica. Però, pur essendo abbastanza brava in genere, andavo particolarmente bene nelle materie scientifiche, specialmente in matematica e fisica. Anche se c'è da dire che all'epoca i programmi di matematica e fisica del liceo classico erano ben poca cosa. Ero una ragazza come tante altre, non certo stupida, ma senza particolari aspirazioni su un piano intellettuale. Solo avevo le idee chiare sul fatto che, finito il liceo, avrei proseguito con gli studi universitari



Figura 10.2: Sala di lettura dell'Istituto di Fisica di Roma "Guglielmo Marconi". Gruppo di studenti e tecnici che lavoravano ai microscopi per lo studio delle lastre. In piedi, da sinistra: Claudio Sgarbi e Franco Ronchei. Seduti: Mendola, Franca Magistrelli, Magda Sansone, Adriana De Angelis, Rosa Massa (settembre 1948).

dedicandomi a materie scientifiche, in particolare matematica e fisica. Per il mio futuro mi soddisfaceva l'idea di riuscire ad essere una buona insegnante di scuola media.

All'epoca esistevano tre possibili lauree: Matematica pura, Fisica pura, Matematica e Fisica; quest'ultima in genere scelta appunto da chi intendeva poi dedicarsi all'insegnamento. Ritenendo però migliore una laurea più specifica, e avendo maggiore propensione per cose non troppo astratte, decisi di iscrivermi a Fisica.

Durante gli anni dell'università, in particolare nel secondo biennio, frequentando l'Istituto di Fisica, maturai però l'idea di diventare un fisico e, possibilmente, come dicevamo noi studenti, di "rimanere in Istituto"; il che è quello che è poi successo.

Mi laureai nel 1951 con il prof. Lucio Mezzetti con una tesi riguardante la "Misura dei ritardi dei contatori di Geiger come metodo per la determi-

nazione delle mobilità elettroniche nelle miscele di gas e vapori organici”. Successivamente rimasi in Istituto per diversi anni. Più tardi gli eventi mi avrebbero portato a lasciare l’università per passare ad un ente scientifico (il CNRN). A tuttora, alle soglie degli ottanta anni, ho ancora qualche legame con attività scientifiche, anche se in modo rarefatto, informale e, naturalmente, non retribuito.

Come ho detto, la mia carriera non è stata nulla di particolarmente brillante, ed è anche stata piena di difficoltà di vario genere; però sono anche riuscita a rendermi utile e a lavorare con il gusto di fare cose che mi piacevano. Ma soprattutto ho avuto fin dall’inizio la fortuna di operare sotto la guida di persone eccezionali; cioè, citandole in ordine cronologico, i professori Enrico Persico, Bruno Brunelli, Bruno Coppi. Personaggi profondamente diversi fra di loro, ma con in comune tante doti intellettuali, etiche ed umane, essi molto mi hanno insegnato e, con la loro guida e il loro esempio, mi hanno portato a rendere il massimo che io fossi in grado di dare.

Nel raccontare per sommi capi la mia storia la suddividerò quindi in tre periodi distinti che indicherò come: Periodo di Persico, Periodo di Brunelli, Periodo di Coppi.

10.2 Periodo di PERSICO (1951–1957)

Il mio incontro con il professor Persico è avvenuto alcuni mesi prima della mia laurea, avendomi egli assegnato una tesina sperimentale in ottica elettronica, argomento al quale in quegli anni egli era interessato e sul quale conduceva alcune ricerche nel suo laboratorio di Fisica superiore. Dopo la laurea però non esisteva per me la possibilità di restare in questo laboratorio in una qualunque posizione che fosse retribuita. E d’altra parte io non volevo perdere la fortuna che avevo di lavorare sotto la guida di una tale persona. Fisico eccellente, possedeva anche una solida cultura umanistica e la capacità di esprimere le sue idee, sempre lucidissime, in un italiano perfetto nella sua semplicità. Ne sono prova i suoi testi (*Fisica Atomica*, *Fisica Matematica*, *Ottica*, ecc.) ben noti a chiunque intraprenda lo studio della fisica a livello universitario. Tutto ciò, unito alla disponibilità ad interessarsi a qualunque problema intelligente che gli venisse sottoposto, faceva di lui un didatta eccezionale, un vero maestro.

D’accordo con il professor Persico, risolsi il mio problema continuando a

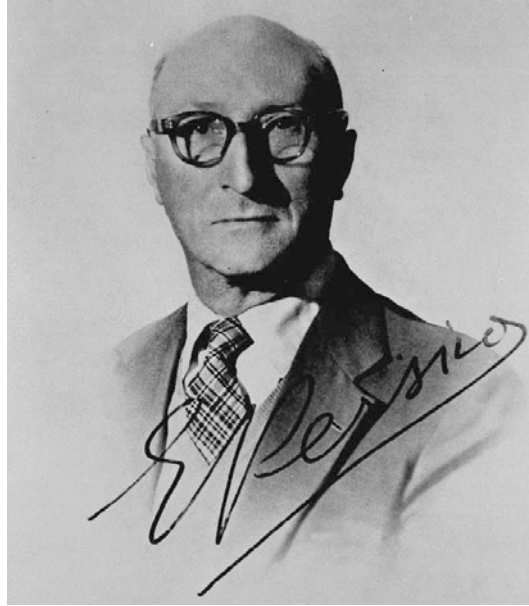


Figura 10.3: Enrico Persico negli anni Cinquanta (Archivio Dipartimento di Fisica Università La Sapienza, Roma).

frequentare il laboratorio di Fisica superiore, ma solo per metà del mio tempo. Per la restante metà lavoravo, per una sia pure modesta retribuzione, nell'Istituto di Fisica, diretto allora dal professor Edoardo Amaldi. Qui, oltre a svolgere una attività didattica consistente essenzialmente in esercitazioni di laboratorio per studenti di ingegneria, ho curato la messa a punto di un dispositivo per la datazione di materiali archeologici basato sulla misura della attività del radiocarbonio (C^{14}). Si trattava di un contatore di Geiger molto particolare, costituito in realtà da quattro contatori con una sezione a settore circolare inseriti in un unico contenitore cilindrico, e nei quali si potevano quindi alloggiare due preparati di carbonio con età da determinare, oltre che un preparato di età 0 ed uno di età infinita che servivano come riferimento. I campioni, consistenti in una pasta di carbonio che andava spalmata sulla parete dei contatori, ci venivano forniti dalla bravissima professoressa Cesarina Cortesi dell'Istituto di Geochimica, persona di meravigliose qualità intellettuali ed umane, rimasta poi mia carissima amica fino alla sua morte nel 1996.

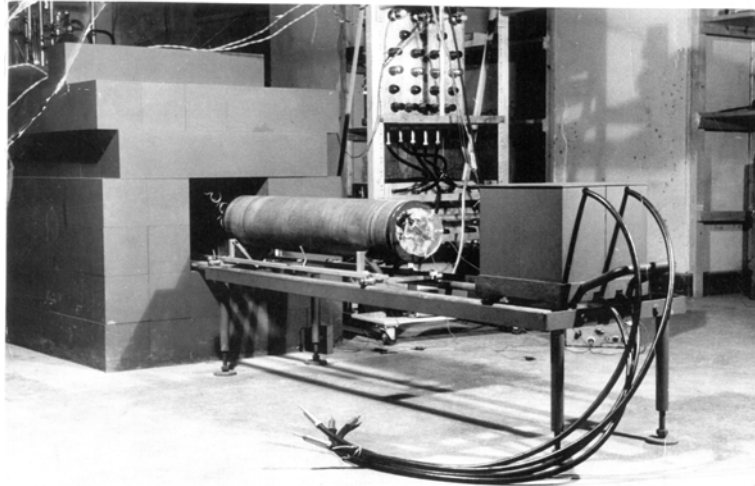


Figura 10.4: Il dispositivo per le datazioni col metodo del radiocarbonio. Il contatore contenente i campioni circondato da una schermatura di ferro per eliminare la radioattività ambiente, e da contatori di Geiger (appena visibili dentro la cavità) in anticoincidenza per eliminare la radiazione cosmica.

Quando io sono entrata ad operare in questo laboratorio il dispositivo era già stato progettato da un gruppo di fisici e doveva a quel punto essere collaudato datando campioni di età nota. Utilizzammo materiali provenienti dalle navi romane ritrovate nel lago di Nemi e materiali provenienti da tombe egiziane. Del gruppo che aveva progettato il dispositivo era rimasto solo un ricercatore (Marcello Beneventano) un po' più anziano di me. I test che abbiamo condotto insieme avevano però dato esito negativo, indicando che il sistema doveva essere affetto da qualche errore di progettazione che tuttavia non ci riusciva di individuare.

Mentre eravamo in queste difficoltà, Beneventano improvvisamente si ammalò e rimase assente, ed inaccessibile, per diversi mesi. Rimasi così sola, da poco laureata ed inesperta, a tirare avanti un laboratorio che, fra l'altro, doveva tenere periodici contatti con altri laboratori di datazione con radiocarbonio sparsi per il mondo. E in tempi, ben diversi da quelli attuali, in cui l'assistenza tecnica di cui si poteva disporre era assai scarsa. Non esisteva la figura del tecnico di laboratorio; esistevano solo dei servizi centralizzati (officina meccanica, officina contatori, ecc.) ai quali ci si poteva rivolgere, naturalmente mettendosi in fila, salvo in casi di estrema urgenza.

La carenza di mezzi economici in cui si trovava l'Istituto (non erano ancora passati molti anni dalla fine della guerra) non consentiva ad esempio di avere qualcuno che potesse giornalmente uscire per fare i necessari acquisti, che invece venivano fatti solo settimanalmente. E mi capitava, per esempio, che nei periodi in cui, appena inseriti i campioni nel contatore, dovevo metterlo sotto vuoto per qualche giorno, dovevo alzarmi prima la mattina per andare a comprare il ghiaccio secco che mi occorreva per le trappole; naturalmente pagandolo con i miei soldi!

Non c'era neanche denaro per comprare una valvola magnetica, ormai d'uso comune, che posta sulla pompa rotativa, in caso di mancanza di corrente, impedisse la risalita dell'olio della pompa nell'impianto da vuoto con disastrose conseguenze; per cui molte volte dovevo aspettare fino a notte perché finalmente il vuoto raggiunto fosse sufficiente per poter inserire la pompa a diffusione che scaricava su un polmone, spegnere la rotativa e andarmene a casa.

E potrei seguitare con una serie interminabile di esempi.

Fra l'altro, dovevo svolgere il mio lavoro didattico che mi impegnava per quattro pomeriggi alla settimana, più il tempo per prepararmi le lezioni, correggere le relazioni degli studenti e fare gli esami. E, come ho già detto, per metà del mio tempo lavoravo nel laboratorio di Fisica superiore. E fu così che mi presi un sia pur non grave esaurimento, per cui nel pomeriggio mi saliva sempre una febbretta che non mi rendeva certo più facile lavorare. Naturalmente non ero l'unica persona nell'Istituto di Fisica a lavorare in condizioni difficili. E ci si può domandare quale giovane laureato sarebbe al giorno d'oggi disposto a tanti sacrifici per un guadagno irrisorio. Ormai, nell'epoca del benessere e del consumismo, certamente si può lavorare più comodamente e con maggiore efficienza; e questo è certo importante. Tuttavia alle volte si sente una certa nostalgia per quei tempi un po' eroici, in cui bisognava sacrificarsi, aguzzare l'ingegno per sopperire alla mancanza di mezzi, e lavorare con dedizione e umiltà.

Rimasta sola in questa situazione, sono riuscita tuttavia ad individuare il difetto di progettazione del dispositivo e a correggerlo. E quando alcuni mesi dopo (il mio collega era da poco rientrato guarito dalla sua malattia) vi fu un congresso sul radiocarbonio a Copenhagen fummo in grado di presentare i nostri risultati. Questo naturalmente ha dato origine ad un certo numero di pubblicazioni fra le quali ricordo qui la più significativa [1].



Figura 10.5: Gita organizzata durante il Congresso sul radiocarbonio (Copenaghen, 1954). Da sinistra: il prof. Alberto Carlo Blanc, la signora Blanc, Marcello Beneventano, Franca Magistrelli, Cesarina Cortesi.

E vengo ora a parlare del lavoro che in questo periodo (1951–1957) ho svolto nel laboratorio di Fisica superiore del professor Persico. Pur non essendo il mio lavoro principale, in quanto si trattava di un volontariato senza particolari impegni e responsabilità, era per me importantissimo poiché mi dava la possibilità di operare sotto la guida di un Maestro, mentre nel laboratorio del C^{14} avevo lavorato per buona parte del tempo da sola.

Nei primi tempi la mia attività è consistita nel realizzare e mettere a punto un calcolatore analogico a rete di resistenze, precedentemente progettato dal professor Persico, per la soluzione dell'equazione di Laplace in relazione allo studio di alcuni problemi di ottica elettronica. Si trattava di costruire un numero considerevole di resistenza a filo curando, mediante l'impiego di un ponte di Wheatstone, che i valori teorici fossero approssimati con elevata precisione. Si trattava quindi di un lavoro di grande pazienza. In realtà disponevamo di due ponti di Wheatstone, affiancati su uno stesso bancone.

10. Franca Magistrelli

E capitava spesso che il professore, il cui studio comunicava con il laboratorio con una porta interna, per fare una pausa nel suo lavoro a scrivania, venisse in laboratorio a darmi una mano a costruire resistenze. E poiché questo lavoro, pur richiedendo grande precisione, non impediva di rivolgere ad altro i propri pensieri, era possibile chiacchierare. Ricordo sempre con piacere queste conversazioni che riguardavano anche argomenti non scientifici, alle volte anche leggeri, ma che l'arguzia e la vivacità intellettuale del professore rendevano comunque interessanti. Una volta costruita, la rete venne naturalmente da noi adoperata appunto per la soluzione di vari problemi di ottica elettronica.

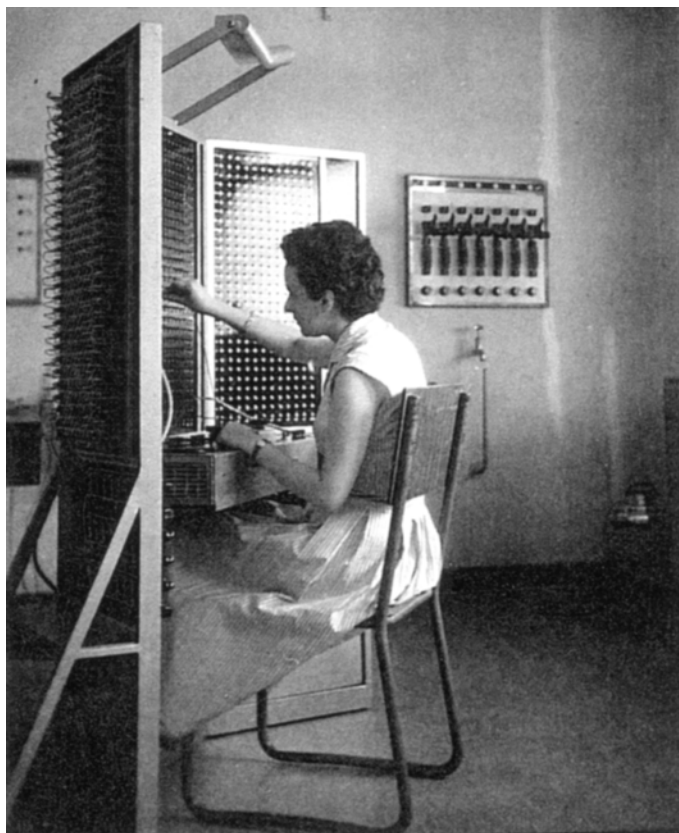


Figura 10.6: Franca Magistrelli alla rete di resistenze nel Laboratorio di Fisica Superiore. Foto scattata dal professor Persico nell'Istituto di Fisica di Roma.

Come pure, questa volta adoperando fogli di carta di grafite (impiegati normalmente nelle telescriventi), o fogli di alluminio, sono state studiate alcune configurazioni delle linee di forza del campo magnetico alle testate del magnete dell'elettrosincrotrone dell'INFN allora in costruzione e il cui staff, in attesa di potersi spostare definitivamente nei Laboratori di Frascati, aveva trovato ospitalità in alcuni locali dell'Istituto di Fisica.

Ma intanto il professor Persico aveva deciso di costruire una sorgente di ioni a radiofrequenza per poter studiare una opportuna ottica elettronica per l'estrazione del fascetto ionico; e quindi mi applicai a questo lavoro.

Nel 1956 entrò nel laboratorio di Fisica superiore Bruno Brunelli, fisico di qualche anno più anziano di me, allora assistente di ruolo e ben presto libero docente e titolare di alcuni incarichi universitari. Entrò anche in laboratorio uno studente (Alberto De Angelis) per svolgere la sua tesi di laurea sulla sorgente di ioni.

A questo punto però accadde un fatto che doveva portare ad importanti sviluppi. Il plasma nella sorgente di ioni era per noi solo un mezzo per poter estrarre un fascetto di ioni con convenienti caratteristiche. E tuttavia avevamo un plasma in laboratorio. E fu per questo che Persico, avendo letto della macchina ZETA inglese, che all'epoca sembrava aver prodotto neutroni da reazioni di fusione in un plasma, suggerì che la nostra attività si spostasse su questo argomento conducendo qualche esperimento realizzabile nell'ambito di un laboratorio universitario. E ci si mosse in questo senso.

Parecchie cose sono state scritte sul professor Persico; e quindi la sua personalità e l'importanza dei suoi contributi alla fisica italiana sono ben descritte. Però nessuno, che io sappia, ha mai fatto rilevare che egli è stato l'ispiratore e il promotore di una ricerca sulla fisica del plasma su piano nazionale. Ispirazione che fu raccolta da Brunelli e che, come si vedrà, si concretò in seguito nella fondazione del Laboratorio Gas Ionizzati del CNRN, per poi evolversi fino a divenire l'attuale Dipartimento Fusione dell'ENEA. Ma di questo parlerò più in dettaglio nel prossimo paragrafo.

Non essendovi allora in Italia alcuna competenza sulla fisica del plasma e sulla fusione, Brunelli andò per il mondo in cerca di esperti, invitandone alcuni a tenere presso di noi seminari e corsi, altri (e ricordo in quei primissimi anni J. Allen, J. Linhart, F. Rasetti) a venire a lavorare nel nostro laboratorio. Però nel frattempo Persico era passato alla cattedra di Fisica teorica, e così venne chiuso il suo laboratorio di Fisica superiore, anche se nel seguito egli ci rimase sempre vicino col suo interesse e con i suoi

suggerimenti.

C'è però da tenere presente che il professor Persico non aveva comunque alcuna propensione per la direzione di gruppi numerosi. Vorrei a questo proposito riportare un brano di una lettera che io scrissi al professor Amaldi in data 23/5/1977. In quel periodo egli stava scrivendo insieme al professor F. Rasetti il ben noto "Ricordo di Enrico Persico"; e per fare ciò egli aveva chiesto testimonianze a varie persone (ed io ero fra queste) che con il professor Persico avevano lavorato. Il brano in questione è il seguente:

"Potrei al massimo ricordare un paio di lati del suo carattere che, ricordo, mi colpivano. E cioè, i suoi modi sempre uguali chiunque fosse il suo interlocutore e la sua assoluta indisponibilità al benché minimo compromesso. Dote, quest'ultima, che poteva anche risolversi in un inconveniente all'atto pratico, e che era un aspetto di tutto un certo tipo di pignoleria, ma che mi sembrava comunque una sua caratteristica importante e inseribile in un quadro di limpidezza e di coerenza di vita.

Era forse un po' anche questo, insieme ad una spiccata avversione per certe inevitabili macchinosità amministrative e burocratiche, che lo portavano a non voler più fare parte di un gruppo quando questo si ingrandiva più di un tanto. Amava dire che un gruppo non faceva più per lui quando superava un certo numero di persone; mi pare di ricordare che fissasse a 6 questo numero. Penso che questo, oltre al maturare di interessi diversi, abbia determinato ad un certo punto il suo distacco sia dal Sincrotrone che dal Laboratorio Gas Ionizzati. Ferma restando la sua massima apertura verso questi gruppi, come verso chiunque altro, ma su un piano personale e non inquadrato e programmatico".

Finì così per me un periodo di sei anni sotto la guida del professor Persico per iniziarne un altro assai più lungo sotto quella del professor Brunelli.

10.3 Periodo di BRUNELLI (1957–1970)

Con il passaggio del professor Persico alla cattedra di Fisica teorica, e la conseguente chiusura del laboratorio di Fisica superiore, ci trovammo quindi nella condizione di dover cercare un altro "sponsor". Brunelli, con la sua intelligenza e sue capacità organizzative e lavorative, riuscì a raccogliere l'ispirazione del professor Persico ed a fondare il Laboratorio Gas Ionizzati che successivamente si è evoluto fino a diventare l'attuale Dipartimento Fusione dell'ENEA. Dopo vari contatti Brunelli trovò nella persona

del professor Felice Ippolito la disponibilità dell'allora CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari divenuto successivamente CNEN e poi ancora ENEA) ad inserire la nostra attività nei programmi del Comitato. Il mio primo contratto di lavoro con il CNRN porta la data del 15 ottobre 1957.

E cominciò a formarsi un piccolo gruppo. Ricordo che quando, nel '58, andammo alla scuola di Astrofisica e Plasmi di Varenna, eravamo in quattro (Brunelli, Ugo Ascoli, Sergio Segre ed io) avendo lasciato a Roma Alberto De Angelis e la segretaria.

Nel 1959 furono presi contatti con l'EURATOM, e quando, nell'estate del '60, ci spostammo da Roma a Frascati, eravamo il Laboratorio Gas Ionizzati dell'EURATOM-CNEN, composto da alcune decine di persone, con programmi di ricerca ben definiti ed articolati in gruppi, con efficienti servizi tecnici e amministrativi, completamente autonomo (a parte i servizi di Centro come mensa, guardiana, riscaldamento, ecc.) rispetto ai preesistenti Laboratori di Frascati dell'INFN.

Nei primi anni Sessanta si costituì anche a Milano un piccolo gruppo di fisica del plasma, sotto la guida del professor Piero Caldirola; gruppo che per un certo tempo si appoggiò al nostro Laboratorio sia perchè alcuni di loro venivano da noi come visitatori, sia perchè alcuni di noi andavano a Milano a tenere brevi corsi secondo le competenze. Personalmente, ricordo di aver tenuto nel 1965 una serie di lezioni sulle condizioni al contorno di un plasma e sulle sonde di Langmuir.

Brunelli, con tutta la sua modestia e il suo spiccato senso del servizio, è stato quindi l'iniziatore delle ricerche sul plasma e sulla fusione in Italia, nonché il fondatore e il primo direttore dei laboratori sulla fusione di Frascati. Ha continuato ad esserlo per tutti gli anni '60, rendendoli laboratori importanti dove brillanti ricercatori, italiani e stranieri, desideravano venire a lavorare. La mia attività al Laboratorio Gas Ionizzati è stata molteplice. Questi tredici anni sono stati in realtà gli anni più intensi e più produttivi della mia vita professionale. Poiché agli inizi io ero l'unico collaboratore del professor Brunelli, mi sono trovata automaticamente ad essere il suo braccio destro nella fondazione e nell'organizzazione del Laboratorio.

Come ho detto, questo era suddiviso in gruppi di ricerca e servizi tecnici e amministrativi. Dopo un primo periodo, nel quale mi sono dovuta occupare praticamente di tutto, quando finalmente vari incarichi poterono essere affidati anche ad altre persone, io mi trovai ad essere il responsabile di un

gruppo di ricerca, nonché del servizio di Vuoto e Soffieria di vetro.

La ricerca del mio gruppo riguardava inizialmente lo studio delle condizioni al contorno di un plasma sia in presenza che in assenza di campo magnetico, e veniva condotta prevalentemente in archi a vapori di mercurio, ma anche in plasmi generati con una radiofrequenza. Come mezzo diagnostico si faceva largo uso delle sonde di Langmuir. Questo lavoro ha dato naturalmente luogo a varie pubblicazioni e presentazioni a congressi; ne cito in bibliografia le più significative [2, 3, 4, 5]. Al gruppo, che agli inizi era costituito da me soltanto, si era ben presto aggiunto Andrea Boschi e si poté usufruire della consulenza, parziale ma importante, di John Allen, fisico inglese proveniente dai laboratori di Harwell, che entrò nel Laboratorio Gas Ionizzati come consulente scientifico e che si trattene poi per sei anni. Da 1963 il gruppo, che inizialmente era stato denominato Gruppo Guaina,¹ spostò i suoi interessi sullo studio dei vari modi di oscillazione di un plasma. Ciò per motivi di naturale evolversi della ricerca, in quanto modi di oscillazione venivano rivelati nelle scariche che erano oggetto delle ricerche precedenti. Ma anche e soprattutto per la grande importanza che intanto aveva assunto nella fisica del plasma lo studio dei vari modi di oscillazione e delle instabilità. E fu così che decidemmo di cambiare il nome del nostro gruppo, che diventò il Gruppo Onde.

Come prima cosa eseguimmo un esperimento, sempre impiegando un arco a bassa pressione, riguardante la propagazione di onde elettroacustiche. Però ben presto ci rendemmo conto che in un plasma di laboratorio non è facile mettere in evidenza i modi di oscillazione. Questa difficoltà è dovuta sovente al modo stesso di generazione del plasma. In genere si fa fluire in esso una corrente per compensare le perdite di energia e di particelle. Ci si viene quindi a trovare nella condizione di dover studiare fenomeni come la nascita di turbolenze e instabilità in un mezzo già di per sé turbolento ed instabile per processi numerosi e non controllabili.

Decidemmo quindi di realizzare dei plasmi cosiddetti “quiescenti”, e lo facemmo con due diversi tipi di dispositivi. Una prima, originale realizzazione, dovuta ad una idea di Lorenzo Enriques, fu il dispositivo da noi battezzato PETER (Plasma in Equilibrio TERmodinamico). In questo dispositivo vapori di un metallo alcalino a basso potenziale di ionizzazione

¹Si indica con “guaina” (in inglese “sheath”) lo strato di particelle cariche di spessore dell'ordine della distanza di Debye, che separa il plasma neutro dalle pareti del contenitore.

(nel nostro caso si trattava di cesio) venivano introdotti in una piccola cavità cilindrica (diametro 2 cm, lunghezza 6 cm) calda (circa 2600 K) di tantalio. In questo modo si ha ionizzazione di contatto sulle pareti che peraltro emettono elettroni per effetto termoionico. Se la temperatura della parete è uniforme il plasma che si ottiene è in equilibrio termodinamico, con uguali densità di ioni e di elettroni (dell'ordine di 10^{10} - 10^{12} cm^{-3}) ed è inoltre esente da gradienti di temperatura, di densità e di potenziale, nonché da qualsiasi tipo di oscillazione o instabilità.

Il secondo dispositivo che abbiamo costruito, negli anni '66 e '67, per la generazione di un plasma quiescente, è stata una "macchina Q", dispositivo che all'epoca era già in uso in diversi laboratori esteri. In un tale apparato una colonna di plasma (diametro 8 cm) di cesio era confinata radialmente da un campo magnetico di qualche migliaia di gauss diretto lungo l'asse del cilindro. Anche in tale dispositivo il plasma veniva generato per ionizzazione di contatto su due piastre di metallo incandescente che costituivano le basi del cilindro.

Con questi due dispositivi è stato possibile effettuare tutta una serie di esperimenti che non sto qui a descrivere per non addentrarmi in un discorso troppo lungo e specifico che non credo possa interessare la maggior parte dei lettori di queste note. Chi eventualmente fosse interessato può consultare la relativa bibliografia [7, 8, 9, 10].

Impegnati in questo lavoro sulla fisica dei plasmi quiescenti, decidemmo di organizzare un congresso internazionale su questo argomento; congresso che fu tenuto a Frascati nei giorni 10-13 gennaio 1967. Il congresso riunì un centinaio di ricercatori ed ebbe un notevole successo soprattutto perchè non avevamo posto dei limiti stretti alla discussione sui vari interventi; ma anche perchè, sia pur curando l'organizzazione nei minimi particolari, eravamo riusciti a creare una atmosfera di cordialità per cui, al di là della visita organizzata che comunque fu fatta, i partecipanti erano liberi di girare per i nostri laboratori come se ne facessero parte, e di usufruire delle *facilities* che potevamo mettere a loro disposizione (segreteria, biblioteca, etc). Ad esempio, coloro che non erano riusciti come richiesto, a venire al congresso con il testo del loro intervento dattiloscritto, poterono farlo battere a macchina dalla nostra segreteria. E così gli atti del congresso uscirono dopo soli tre mesi dal suo termine.

L'ampliamento dei programmi di ricerca del gruppo aveva naturalmente comportato un aumento del numero dei ricercatori in esso impegnati. Alla

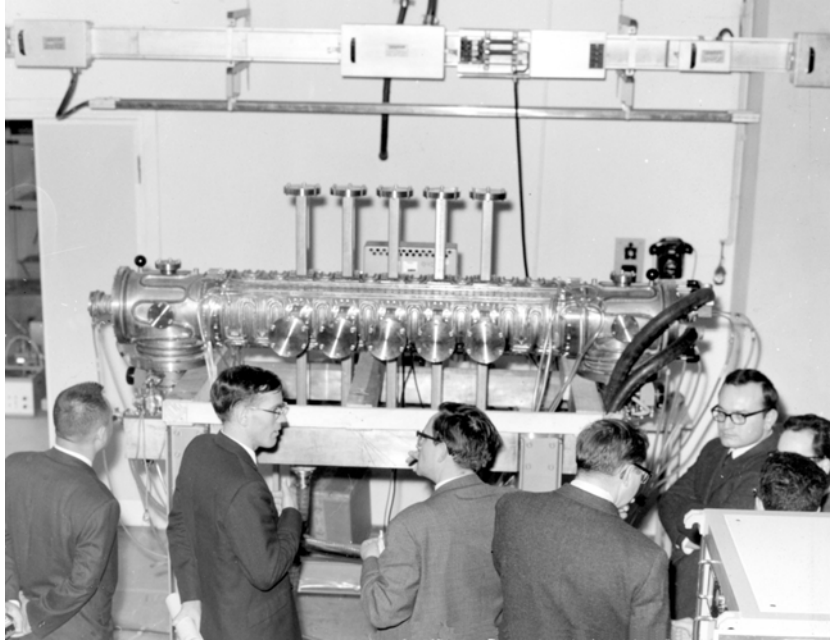


Figura 10.7: Visita alla macchina Q (in costruzione) nel Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati durante il Congresso Internazionale sulla Fisica dei Plasmi Quiescenti (10–13 gennaio 1967).

fine degli anni '60 il Gruppo Onde era formato da 5 ricercatori dipendenti del CNEN (Lorenzo Enriques, Mario Iannuzzi, F. Magistrelli, Ernesto Mazzucato, Giovan Battista Righetti) oltre a 4 borsisti (Franco Piperno, Raniero Sciarra, Franco Sisto, Maurizio Tomassini) nonché da alcuni ospiti stranieri, fra i quali voglio ricordare Alfred Levine che, proveniente dai laboratori di Princeton, era venuto a passare il suo anno sabbatico presso di noi.

Giravano inoltre per il laboratorio alcuni studenti. Infatti, nel contesto delle mie attività didattiche, io dovevo assegnare alcune tesi di laurea e inoltre ospitare in laboratorio piccole esperienze libere che all'epoca l'Istituto di Fisica faceva svolgere agli studenti di Fisica dell'ultimo anno. Per inciso, nel 1966 io avevo conseguito la libera docenza in Fisica generale.

Quanto ho raccontato sopra ha a che vedere con il mio lavoro di ricercatore. Ma, come prima ho detto, ero anche responsabile del servizio di Vuoto e Soffieria. Qui la mia attività è stata abbastanza impegnativa essenzialmente



Figura 10.8: Apertura del Congresso Internazionale sulla Fisica dei Plasmi Quiescenti nella sala delle riunioni di Frascati. In prima fila da sinistra: il prof. Carlo Salvetti (vicepresidente del CNEN), il prof. Bruno Brunelli (direttore del Laboratorio Gas Ionizzati EURATOM–CNEN)

per il fatto che, mentre il sistema da vuoto è parte di ogni dispositivo in cui si debba creare un plasma, non esistevano sulla piazza dei tecnici vuotisti, come invece esistevano periti meccanici, elettronici, etc. Quindi bisognava crearli. Organizzai allora dei brevi corsi di vuoto per tecnici di laboratorio, scrivendo per l'occasione degli appunti [11] che ho poi usato anche nelle esercitazioni di laboratorio per studenti di fisica del terzo anno, che conducevo in quegli anni.

Oltre agli interventi di progettazione e manutenzione necessari nei vari esperimenti, bisognava anche tenersi aggiornati sugli sviluppi della tecnica del vuoto e fare in modo di poter disporre delle migliori attrezzature disponibili: impianti da vuoto, misuratori di pressioni totali e parziali, apparecchi per la ricerca delle perdite, metallizzatore sotto vuoto, componenti varie. C'era poi il problema di organizzare una soffieria di vetro. Infatti, molti esperimenti comprendevano parti in vetro di realizzazione spesso piuttosto complicata, e che andavano costruite, smontate e rimontate, riparate. Ri-

10. Franca Magistrelli

volgersi ad un soffiatore professionista, come si faceva all'Istituto di Fisica e come facevamo anche noi nei primi tempi, comportava, oltre a una notevole spesa, una perdita di tempo inaccettabile.



Figura 10.9: Esterno della soffieria di vetro del Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati. Sulla sinistra è visibile la centralina con le bombole di idrogeno e ossigeno.

D'altra parte sarebbe stata una soluzione antieconomica quella di assumere un soffiatore professionista, che avrebbe potuto essere carico di lavoro in certi periodi, ma che in altri non avrebbe avuto niente da fare. Pensai allora che la soluzione fosse, come nel caso del vuoto, quella di istruire al mestiere di soffiatore alcuni tecnici (inizialmente due) dei nostri laboratori. E trovai per questo la disponibilità di Sabatino Viligiardi, che era all'epoca il soffiatore, bravissimo, del quale ci servivamo. Con entusiasmo e generosità, in quanto per lui questo comportava una futura perdita di clienti, egli fece scuola di soffiaria ai nostri tecnici che in un tempo ragionevole furono in grado di costruire pezzi di qualunque difficoltà, e che a loro volta istruirono altri tecnici del laboratorio. Naturalmente questo comportò l'organizzazione, sempre con la consulenza di Viligiardi, di un locale per la soffiaria, con vari banconi di lavoro, e comprendente una notevole dotazione di attrezzature e materiali.

Nella Figura 10.9 è visibile sulla sinistra il piccolo edificio che ospitava la

centralina con le bombole di idrogeno e ossigeno, gas necessari per alimentare le fiamme. L'impianto era stato costruito con la consulenza della ditta SIO e con l'approvazione dei Vigili del Fuoco. Nello stesso piccolo edificio era alloggiato un impianto per la distillazione del mercurio.



Figura 10.10: La soffiaria di vetro del Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati. Foto scattata durante la “bicchierata” di inaugurazione (aprile 1961). Da sinistra: di spalle Flavio Palumbo (amministratore del Laboratorio), l'ing. Renato Cerchia (responsabile dell'edilizia dei Laboratori di Frascati), in camice bianco Sergio Viselli (tecnico soffiatore), Franca Magistrelli, Alberto De Angelis.

La mia attività nel campo del vuoto fece sì che io venissi invitata a fare parte dapprima del Comitato Promotore e successivamente del Consiglio Direttivo dell'AIV (Associazione Italiana del Vuoto) nella quale ho operato fino al mio pensionamento nel 1992. Dal 1983 fino al 1992 sono stata inoltre Direttore Responsabile della rivista *VUOTO, Scienza e Tecnologia*, organo ufficiale dell'AIV.

Per continuare a raccontare la mia storia è però opportuno a questo punto



Figura 10.11: Il maestro di soffieria Sabatino Viligiardi (terzo da sinistra) con alcuni tecnici suoi studenti.

che io dia un cenno, sia pure brevissimo, sulla ricerca che si conduceva in tutto il Laboratorio Gas Ionizzati.

C'era intanto la ricerca portata avanti dai dipendenti EURATOM, guidati da J. Linhart, che consisteva essenzialmente in due esperimenti. In uno di essi (Plasma Focus, condotto da Charles Maisonnier) venivano prodotti, in scariche in un plasma di deuterio, neutroni fino a 10^{11} *n/shot*. In un altro esperimento (MAFIN, condotto da Heinz Knoepfel) elevati campi magnetici venivano prodotti con l'impiego di esplosivi. Questo esperimento naturalmente non veniva condotto nei locali dei laboratori di Frascati, ma in un apposito bunker costruito a Colleferro.

Venivano poi condotte ricerche sulla conversione diretta di energia, sia per via termoionica che per via magnetoidrodinamica, guidate rispettivamente da Vinicio Boffi e da Romano Toschi. Alla fine venne portato avanti solo quest'ultimo metodo, che costituì l'attività di un Laboratorio a sé stante; per cui il Laboratorio Gas Ionizzati si trasformò nei Laboratori Gas

Ionizzati.

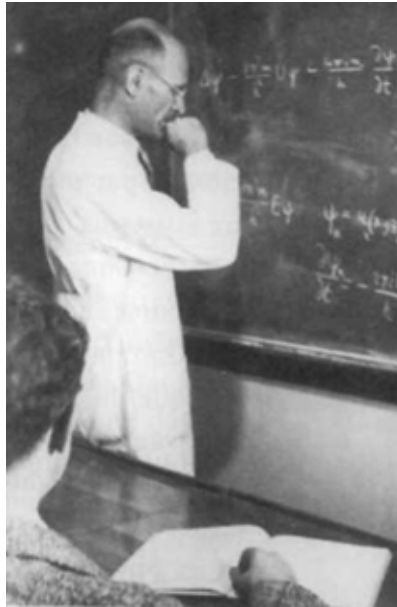


Figura 10.12: Franco Rasetti nel 1947.

Di notevole importanza era poi la ricerca condotta in quello che era nato nel 1958 come il Gruppo di Ottica e Spettroscopia, nel quale per diverso tempo era venuto a lavorare il professor Franco Rasetti. Ugo Ascoli, che guidava questo gruppo, ideò un esperimento, denominato “Hot-Ice”, nel quale si studiava l’interazione con la materia, costituita da un cilindretto di deuterio solido, con un fascio laser di potenza.

Questa ricerca si pone nel filone degli studi sulla produzione di energia da fusione mediante confinamento inerziale;² studi che sono poi proseguiti negli anni a Frascati.

²Il confinamento di un plasma, che ha luogo spontaneamente nelle stelle a causa della rilevante forza di gravità connessa con le enormi masse in giuoco, può ottenersi in laboratorio con due diversi sistemi: 1) Confinamento inerziale: in questo sistema si comprime a densità elevatissima (maggiore di circa 1000 volte la densità del liquido) una pallina di deuterio-trizio per mezzo di fasci laser o di particelle cariche. I tempi di compressione sono brevissimi, per modo che il combustibile, vincolato dalla sua stessa inerzia, brucia prima di potersi disperdere. Si ottengono densità maggiori di 10^{24} cm^{-3} con tempi di confinamento minori di 10^{-19} s ; 2) Confinamento magnetico: qui il plasma, essendo una miscela di particelle cariche, viene tenuto lontano dalle pareti del contenitore

Per il resto, oltre alla ricerca svolta nel mio gruppo, e della quale ho parlato più diffusamente dal momento che qui sto raccontando la mia storia, esisteva fin dai primi tempi un altro esperimento, chiamato CARIDDI, consistente in un θ -*pinch* in cui veniva studiata la propagazione di onde d'urto senza collisioni in un campo magnetico.

Però, nel 1969, dalla ricerca fusionistica che si svolgeva nel mondo risultò chiaro che, nell'ambito del confinamento magnetico, le configurazioni toroidali, in particolare quelle denominate tokamak, avevano superiori qualità e permettevano di studiare importanti aspetti di fisica dei plasmi termoneucleari. Brunelli indirizzò allora in questo senso gli interessi dei nostri laboratori, e prese quindi contatto con il professor Bruno Coppi del MIT di Boston. Ricordo in particolare un seminario che Coppi tenne a Frascati, nel quale ci suggerì la costruzione di un tokamak compatto ad alto campo magnetico, che in quel seminario venne scherzosamente denominato Frascamak.

Cominciò così, fin dal '69 e per iniziativa di Brunelli, la collaborazione dei laboratori di Frascati con Coppi. Collaborazione che avrebbe portato alla realizzazione della macchina FT e del successivo FTU.

La decisione di costruire un tokamak comportava naturalmente una modifica della organizzazione del laboratorio. Rimanendo inalterata l'attività del laboratorio Hot-Ice, si trattava infatti di passare da una struttura comprendente alcuni esperimenti relativamente piccoli ad un'altra concentrata su un'unica macchina piuttosto grande, sulla quale le attività dei ricercatori e dei tecnici dovevano convergere.³ Purtroppo, però, ciò che di per sé avrebbe dovuto costituire una svolta positiva, si andò a scontrare con un ambiente lavorativo che da un po' di tempo si stava deteriorando, per normale crisi di crescita, per alcuni malumori, per ambizioni insoddisfatte. E c'è poi da tener presente, fatto importantissimo, che era intanto arrivato il '68, con tutto il suo carico di eventi politici e sociali, che investirono tutta la nazione, e quindi anche le università e i laboratori di ricerca con effetti destabilizzanti. Per dirne una, quelle che erano le Commissioni Interne

da opportuni campi magnetici. Si può avere tipicamente un tempo di confinamento dell'ordine di 1 s con una densità dell'ordine di 10^{14} cm⁻³.

³Nel contesto di questa ristrutturazione, Brunelli chiamò a collaborare con lui, come assistenti di direzione, Folker Engelman (di EURATOM), per le questioni riguardanti i rapporti del Laboratorio con l'esterno, e me (del CNEN), per le questioni interne al Laboratorio. Lasciai così la guida del Gruppo Onde, pur seguitando a svolgervi la mia attività di ricerca.

(apolitiche) furono sostituite, dapprima dai Comitati di Base (politicizzati) e successivamente dai sindacati. E fu partitocrazia; fu cioè l'inizio di un'epoca oscura, che a tutt'oggi permane e che, salvo rarissime eccezioni, non consente più a chi lavora di affermarsi sulla base, soltanto, dei propri valori personali.

E Brunelli non era uomo per questi tempi; e non riuscì a procedere per un cammino irto di ostacoli assurdi, estranei alla logica scientifica, e su un terreno che gli veniva sistematicamente scavato sotto i piedi. Di fatto, nel 1970, egli cadde in un serio esaurimento nervoso che lo costrinse ad allontanarsi dal laboratorio; il che fu buona occasione per estrometterlo dalla sua carica di Direttore. Nel contesto di questo “golpe” io fui trasferita, dapprima nella sede centrale di Roma del CNEN, e successivamente nei laboratori della Casaccia.

Gli anni che seguirono, dal 1970 al 1981, sono stati gli anni bui della mia vita professionale. Nelle mie nuove sedi di “lavoro” ero stata infatti inserita in unità amministrative, nelle quali io né sapevo né intendevo operare. Quindi in questo lungo periodo, a parte una parziale attività per l'AIV, e a parte un po' di tempo dedicato allo studio, i miei interessi si sono rivolti a varie cose che con la fisica non avevano nulla a che vedere.

10.4 Periodo di COPPI (dal 1981 in poi)

Ad interrompere questo lungo periodo di grigiore viene, nel 1981, il mio incontro con il professor Bruno Coppi. Personaggio geniale, vulcanico, lavoratore formidabile, professore di Astrofisica e Plasmi al MIT di Boston, egli è il massimo fusionista italiano ed uno dei massimi mondiali, come attestano anche i tanti riconoscimenti che gli sono stati attribuiti sia all'estero che in Italia. Pieno di interessi culturali anche al di fuori del campo scientifico, la sua eccezionalità non gli impedisce di essere rispettoso di qualunque essere umano, pretendendo solo in cambio, oltre ad un reciproco rispetto, la buona fede e la buona volontà delle quali cose difficilmente sopporta la mancanza. Come ho già detto, Coppi era già venuto in contatto con i Laboratori Gas Ionizzati durante gli anni della direzione di Brunelli.

Negli anni '70, quando io non ero più a Frascati, egli era tornato in questi Laboratori, dove ha proposto e impostato l'esperimento FT (Frascati Tokamak), naturale evoluzione dell'ALCATOR A del MIT, del quale egli è stato

ideatore, progettista e guida. Si tratta in entrambi i casi di macchine che si pongono nel filone dei tokamak compatti ad alto campo magnetico, che si differenziano in modo sostanziale dai grandi tokamak a campo magnetico più basso (JET, NET, INTOR, ITER).

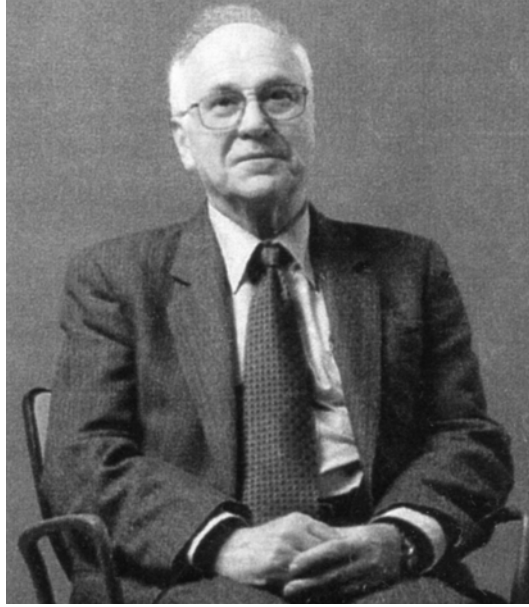


Figura 10.13: Bruno Coppi.

Nel frattempo, fin dal 1976, Coppi si dedicava alla progettazione di Ignitor, proponendone la costruzione in Italia. Si tratta anche qui di un tokamak compatto ad alto campo magnetico, contenente però un plasma di deuterio-trizio e progettato, a differenza dei dispositivi precedenti, per l'ottenimento di un plasma in condizioni di ignizione; quelle condizioni cioè in cui il plasma è in grado di autosostenersi, come capita in natura nel sole e nelle altre stelle.

Però, mentre la reazione DT è la più facile da innescare, essa potrebbe non essere la più adatta sul piano pratico qualora, usciti da una fase di sperimentazione, la si volesse impiegare per la realizzazione di un reattore. Ciò perché essa dà origine a neutroni di alta energia (circa 14 MeV) con conseguente attivazione dei materiali strutturali e relativo danneggiamento. Ad un successo di Ignitor dovrebbe quindi seguire, secondo il professor Cop-

pi, un ulteriore tokamak compatto ad alto campo magnetico, ma operante questa volta con combustibili avanzati (in pratica un plasma di deuterio-elio 3), dove l'innesco delle reazioni di fusione richiede delle condizioni più severe, ma dove la produzione di neutroni di alta energia è sensibilmente ridotta. Il professor Coppi sta da tempo studiando questo dispositivo che viene da lui denominato Candor. Se anche l'esperimento Candor avesse successo, si potrebbe veramente passare alla progettazione di un reattore.

La realizzazione in laboratorio di un plasma in condizioni di ignizione è quindi indispensabile, urgente e assolutamente prioritaria se veramente si vuole procedere verso l'ottenimento di energia da fusione nucleare. Purtroppo, anche in ambito mondiale, questa esigenza sembra non essere recepita. Infatti, le linee ricerca prevalentemente seguite consistono nella progettazione di dispositivi, giganteschi e costosissimi, del tipo di ITER, che non prevedono il raggiungimento dell'ignizione. Mentre la linea delle macchine compatte ad alto campo magnetico, che, passando per l'ignizione del plasma, potrebbe veramente portare alla realizzazione di un reattore a fusione, viene non solo ostacolata, ma spesso anche occultata.

Quali che siano le motivazioni per questa condotta, è comunque evidente che esse devono essere di natura politico-economica, non certo scientifica; come se a livello di "decisori" esistesse la precisa volontà di non procedere verso l'ottenimento di energia da fusione.

Per la progettazione di Ignitor, Coppi aveva creato un gruppo costituito da individui di diverse affiliazioni, sia italiane che estere. Questo gruppo, di cui egli era il "principal investigator", faceva capo, sul piano gestionale, all'allora CNEN. Il mio ingresso in questo gruppo avvenne, come ho detto, nel 1981, "catalizzato" dall'ottimo amico e collega Edmondo Pedretti dei laboratori della Casaccia, che ne faceva già parte. Edmondo Pedretti è purtroppo deceduto nell'estate del 2004.

Nei primi anni mi sono occupata di alcuni aspetti dei sistemi per il vuoto e per il trizio. Inoltre ho curato una sorta di segreteria scientifica, che il professor Coppi tentò, invano, di istituzionalizzare. In realtà tutto lo svolgimento dei lavori per Ignitor ha sempre incontrato un'infinità di ostacoli di vario genere. Come prima accennato, la ricerca sulla fusione sulla linea dei dispositivi compatti viene ostacolata anche in ambito mondiale. Ma l'opposizione si fa più aspra in Europa (EURATOM) e ancor più in Italia. Qui l'ENEA, che si è autonominato gestore di tutti i programmi fusionistici italiani, si è sempre coperto dietro le comode e larghe spalle di EURATOM,

mettendo così in atto una serie interminabile di slittamenti, facendo credere indispensabile una collaborazione internazionale. Mentre in realtà un programma della consistenza di Ignitor potrebbe benissimo essere sostenuto su un piano nazionale, anche semplicemente tagliando gli sprechi e i programmi poco utili e sbagliati. Di conseguenza anche io nel mio lavoro ho trovato mille ostacoli che, sempre di più col passare degli anni, mi hanno di fatto impedito di operare. Nel 1992 sono andata in pensione, anche se ho seguito a mantenere dei contatti con il professor Coppi.

Il lavoro che svolgo attualmente per Ignitor, e che mi occupa per una parte non molto grande del mio tempo, è sostanzialmente un lavoro di documentazione, teso a limitare i danni prodotti dalla carente o cattiva informazione che, in buona o in cattiva fede, viene normalmente fornita sul problema della fusione termonucleare controllata. Danni che si aggiungono a quelli prodotti dalla errata conduzione dei programmi.

Varie cose ho scritto e tanto materiale ho raccolto. La documentazione che così ho messo insieme, se letta anche con un minimo di attenzione, dovrebbe bastare per far chiarezza sul problema. Ma, specie in Italia, tanto si parla, spesso a sproposito; un po' meno si scrive, anche qui spesso a sproposito, ma ben poco si legge. E poi bisogna fare i conti con i tanti individui che trovano più comodo limitarsi a recepire solo quella informazione che viene fornita da chi sta dalla parte del potere politico.

Data la mia veneranda età, è chiaro che io non vedrò neppure l'inizio di una eventuale futura epoca dell'energia da fusione. E probabilmente non la vedrò neppure il professor Coppi, che pure è abbastanza più "giovane" di me.

Però è possibile che in un futuro, anche se lontano, la comunità scientifica mondiale decida di rivolgersi, finalmente per la giusta strada, a questa fonte di energia. E allora la mia massiccia documentazione potrebbe essere utile per testimoniare come veramente si è svolta la ricerca fusionistica e quali ne sono stati, positivi o negativi, i protagonisti.

In conclusione, senza volere (Dio me ne guardi!) paragonarmi a San Paolo, penso di poter fare mia una frase presa dalla seconda lettera a Timoteo: "Ho combattuto la buona battaglia, ho terminato la mia corsa, ho conservato la fede".

Bibliografia

- [1] Ballario, C., Beneventano, M., De Marco, A., Magistrelli, F., Cortesi, C., Mantovani, T., Apparatus for Carbon-14 Dating, *Science* 121 (1955) 409.
- [2] Allen, J. E., Boschi, A., Magistrelli, F., The Limiting Current Phenomenon in the Presence of an Azimuthal Magnetic Field, *Nuovo Cimento* 27 (1963) 674.
- [3] Allen, J. E., Magistrelli, F., The Plasma-Sheath Transition in a Magnetic Field, *Nuovo Cimento* 18 (1960) 1138.
- [4] Allen, J. E., Magistrelli, F., Production of Continuous HighCurrent Discharges in Gases, *Nature* 194 (1962) 1167.
- [5] Boschi, A., Magistrelli, F., Effect of a R.F. Signal on the Characteristic of a Langmuir Probe, *Nuovo Cimento* 29 (1963) 487.
- [6] Enriques, L., Magistrelli, F., Device for Generating an Alkali Plasma in Thermodynamic Equilibrium(PETER), *Rev. Sci. Instrum.* 35 (1964) 1708.
- [7] Enriques, L., Righetti, G. B., Magistrelli, F., Boschi, A., Measurements on Ionic Waves Amplified by Collective Behaviour in an Alkali Plasma, *Nuovo Cimento* 38 (1965) 26.
- [8] Iannuzzi, M., Magistrelli, F., Modulation of Plasma Permittivity by Ion Waves, *Nuovo Cimento* 40B (1965) 424.
- [9] Iannuzzi, M., Magistrelli, F., Piperno, F., Coherent Forward Scattering of Microwave from Density Fluctuations in Alkali Plasmas, *Phys. Fluids* 11 (1968) 1822.
- [10] Sisto, F., Levine, A. M., Magistrelli, F., Electron Temperature Effects on Low-Frequency Oscillations in an Alkali Magnetoplasma, *Nuovo Cimento* 61B (1968) 439.
- [19] Magistrelli, F., *Appunti di Tecnica del Vuoto*, Università di Roma, Anno Accademico 1962-'63.

Capitolo 11

Mario Grilli

Mario Grilli è nato nel giugno 1928 a Troia, un paesino collinare in provincia di Foggia, che si affaccia sul Tavoliere delle Puglie. Dopo gli studi superiori nell'Istituto salesiano Villa Sora di Frascati e nel liceo classico Vincenzo Lanza di Foggia, si è laureato in Fisica all'Università di Napoli nel luglio 1951.

Dopo aver conseguito la libera docenza in Fisica superiore nel 1958, ha ottenuto la cattedra di Fisica generale nel 1976 e ha insegnato, dal 1951 al 2001, nelle Università di Bari, L'Aquila, Padova e Roma (La Sapienza) argomenti diversi: Fisica generale, Fisica nucleare e subnucleare, Preparazione di esperienze didattiche.

È autore (o coautore) di diverse opere a carattere didattico (*Problemi di meccanica e termologia*, 1979; *Termodinamica*, 1985; *Fisica: meccanica e termodinamica*, 2000).

Ha svolto ricerche prima a Padova e poi nei Laboratori Nazionali di Frascati e a Roma, nel campo delle particelle elementari. Lo studio delle particelle strane (Università di Padova, anni Cinquanta) e lo studio dei processi elettromagnetici e adronici prodotti dalle collisioni elettrone-positrone (Adone) hanno rappresentato momenti particolarmente significativi di queste ricerche.

A partire dagli anni Ottanta si è interessato anche di Storia della fisica.

Abbandonata la ricerca attiva si è dedicato alla stesura di saggi di divulgazione scientifico-filosofica su temi diversi (*Il tempo*, 2000; *Oltre l'atomo. Cento anni di particelle*, 2002; *Il caso nella vita, nell'universo e nel microcosmo*, 2004).

11.1 Ricordi di un emigrante (intellettuale) da Napoli a Padova

Laureatomi in fisica a Napoli, nel luglio 1951, alla età di ventitrè anni, qualche mese dopo, nell'autunno dello stesso anno, ero a Padova a lavorare

nell'Istituto di Fisica *Galileo Galilei*. Questo trasferimento, che nel titolo ho chiamato “emigrazione intellettuale”, fu decisivo per il mio futuro professionale così come per quello di altri miei colleghi, Bruno Vitale e Roberto Stroffolini, che seguirono lo stesso percorso.

Questi trasferimenti non furono, ovviamente, drammatici come quelli di quanti (e furono tanti!), in quegli stessi anni, abbandonarono il lavoro agricolo nel Sud d'Italia per quello industriale del Nord.

Come questi ultimi anche i nostri trasferimenti furono contrassegnati da un fecondo salto di livello sul piano lavorativo, corrispondente (grosso modo) al passaggio da una fisica di fine '800 ad una ricerca aperta e moderna.

Gli anni degli studi universitari napoletani, la situazione degli istituti universitari napoletani in quel periodo, vanno inquadrati nella disperata realtà di una città appena uscita da una guerra disastrosa per gli uomini e le cose. In quegli anni a Napoli si cantava: “*Munasterio 'e Santa Chiara / tengo 'o core scuro scuro / ma pecchè, pecchè ogni sera / penz'a Napule cumm'era / penz'a Napule cumm'è?...*”.¹

Il mio curriculum universitario, più o meno standard, comprendeva, su un totale di 15 esami, nove corsi a carattere “fisico”, due a carattere “chimico” e quattro a carattere “matematico”.²

Il livello di questi corsi e l'interesse che suscitavano in noi studenti, erano ovviamente diversi da caso a caso. Dipendevano, come sempre (allora come ora), dalla competenza e dall'impegno del docente, dalla sua abilità didattica e dal suo fascino intellettuale, dalle attrezzature disponibili, dal contenuto del corso e dai testi seguiti.³

¹Famosa canzone di Galdieri e Barbieri (1945).

²I corsi a carattere fisico erano: Fisica sperimentale, Esercitazioni di fisica (I e II), Fisica superiore, Fisica matematica, Fisica teorica, Fisica terrestre, Geodesia, Meccanica razionale. Quelli a carattere chimico erano: Chimica e Chimica fisica.

³Lo studio di base delle materie trattate nei diversi corsi si svolgeva su “dispense”, curate dai docenti o da loro assistenti, che venivano integrate, obbligatoriamente o per scelta mia personale, su una serie di testi “classici”. Fra le dispense ricordo per la loro accuratezza e completezza quelle di Analisi di R. Caccioppoli (Libreria Internazionale Treves di Leo Lupi, Napoli). Il corso di Analisi superiore di C. Miranda si basava sul testo di M. Picone: *Appunti di Analisi superiore*, a cura di C. Miranda e A. Ghizzetti (Napoli, Rondinella). Per Geometria analitica, G. Comesatti, *Lezioni di geometria analitica e proiettiva* (Padova, Cedam, 1946). Il corso di Chimica di F. Giordani seguiva il classico testo di G. Bruni, *Chimica generale e inorganica con elementi di chimica organica* (Milano, C. Tamburini, 1945). Il corso di Fisica generale, di A. Carrelli, era su dispense da me integrate con E. Perucca, *Fisica generale e sperimentale* (Torino, Utet, 1944), W. Del Regno, *Il calore* (Milano, Vallardi), E. Persico, *Ottica* (Milano, Vallardi). Nel

11. Mario Grilli

In quanto a “fascino”, a parte Giampietro Puppi (che, come dirò, fa storia a sé), il professore che più colpiva la fantasia di noi giovani matricole era certamente Renato Caccioppoli. Questi, di cui molto si è detto anche in chiave cinematografica, corrispondeva nel nostro giovanile e provinciale immaginario al cliché del matematico geniale e solitario.

Gli insegnamenti di fisica, con l’eccezione dei corsi di fisica terrestre e meccanica razionale, venivano impartiti nell’istituto di fisica, che noi studenti di fisica frequentavamo, se ben ricordo, solo in queste occasioni.



Figura 11.1: Libretto Universitario di Mario Grilli.

corso di Fisica matematica veniva, parzialmente, seguito: E. Persico, *Introduzione alla Fisica matematica* (Bologna, Zanichelli, 1945). Per Fisica terrestre e Geodesia si faceva parziale ricorso a G. Armellini, *I fondamenti scientifici dell’astronomia* (Milano, Hoepli, 1947). Nel corso di Meccanica razionale veniva seguito il testo di Tullio Levi Civita e Ugo Amaldi, *Compendio di Meccanica razionale*, Bologna, Zanichelli, 1946, integrato da G. Bisconcini, *Esercizi e complementi di meccanica razionale* (Roma, A. Signorelli, 1947). Come si può notare molti dei testi citati (G. Bruni, E. Persico, E. Perucca, Levi Civita, Amaldi) erano opere ben note già prima della guerra e ristampate immediatamente alla fine di questa. Infine una nota di colore: molti di questi testi, come risulta dal timbro apposto, furono acquistati nella ben nota “Libreria del dott. R. Liguori, via Mezzocanone 23, Napoli”, ad un costo intorno alle mille lire a volume (Armellini: 500 lire; Bruni: 1.000; Picone: 1.400).

Questo istituto era, a quel tempo, costituito da un ridotto numero di studi e laboratori. Non ricordo di averne mai frequentato la biblioteca. L'istituto di Napoli era un classico istituto monocattedra, cioè con un solo professore ordinario (il "professore": Antonio Carrelli), alcuni assistenti, uno o due professori incaricati. Questi dovevano provvedere all'insegnamento della fisica agli studenti di diversi corsi di laurea, in prima fila a quelli di ingegneria cui eravamo aggregati noi aspiranti fisici.

La carenza fondamentale dell'insegnamento di fisica sperimentale era nella povertà, qualitativa e quantitativa, delle esercitazioni di laboratorio. Le esperienze o dimostrazioni didattiche venivano presentate ed eseguite, nel corso delle lezioni di Fisica generale, in un'aula affollata da un centinaio di studenti. Nel mio ricordo, ancora vivo, queste dimostrazioni didattiche erano eseguite da uno o più assistenti, sempre presenti alle lezioni del professore e seduti a lato della cattedra. I vari passi dell'esperienza venivano illustrati dal professore, in una atmosfera marcatamente teatrale, che veniva sottolineata (se non ricordo male) dall'applauso degli studenti al termine della dimostrazione didattica. Un applauso, altresì, accompagnava sia l'ingresso che l'uscita dall'aula del "professore", attraverso una larga porta nascosta da un bel drappo.

Le esercitazioni di laboratorio, eseguite da noi studenti di fisica, vertevano su temi piuttosto "classici" (moto del pendolo, rifrazione della luce, calorimetria, etc. . .), senza alcun cenno a tecniche di laboratorio più avanzate (elettronica, tecnica del vuoto, . . .).

Gli insegnamenti di fisica, oltre che risentire delle citate carenze di spazi ed attrezzature, erano limitati e non aggiornati nei contenuti. Basterà citare, al riguardo, che il corso di Fisica superiore si fermava (se ben ricordo) più o meno alla Radioattività, e quello di Fisica Teorica (prima dell'avvento di Giampiero Puppi, di cui dirò fra breve) a poco più dell'equazione di E. Schrödinger.

Gli insegnamenti di matematica erano, nel mio ricordo, più formativi di quelli di fisica sia perché meno penalizzati di questi ultimi dalla limitatezza degli spazi sia perché si giovavano dell'esistenza di una scuola matematica locale (R. Caccioppoli, C. Miranda, ecc.).

L'insegnamento della chimica, e relative esercitazioni numeriche (stechiometria), era molto vasto e approfondito ma in prevalenza, essendo essenzialmente diretto agli studenti di ingegneria, verteva su argomenti di chimica generale (proprietà dei singoli elementi e dei principali composti) piuttosto

che di chimica fisica.

Nel corso dei miei studi universitari ricordo un dialogo estremamente ridotto, se non proprio nullo, fra docenti e studenti. Non esistevano, mi pare quasi inutile precisarlo, pedagoghi o tutori che, come avviene attualmente, seguissero e indirizzassero gli studenti di fisica, candidati ad essere i fisici del futuro. Tutto ciò era causato, principalmente, dall'alto rapporto studenti (ingegneria, fisica, matematica)/docenti.

Unica eccezione in questo panorama, a parte quella legata a Puppi, si verificò nella preparazione delle nostre (cioè quella mia e dell'amico Vitale) tesi di laurea su argomenti di fisica terrestre. Ebbi, allora, ripetuti contatti con il prof. Giuseppe Imbò (illustre vulcanologo) e il suo assistente (che mi pare si chiamasse Vittozzi), entrambi sempre disponibili e umanamente aperti. La mia tesi fu di carattere compilativo e a questo fine frequentai per diverso tempo la biblioteca dell'Osservatorio vesuviano; un istituto dignitoso, tranquillo, ma certamente con limitate disponibilità economiche (almeno per la didattica).

Lavorando per la tesi ho appreso, oltre i rudimenti della lingua inglese, la necessità di confrontare dati e interpretazioni diverse su uno stesso processo al fine di raggiungere un quadro, una sintesi sull'argomento.

Da quanto sin qui tratteggiato consegue che la preparazione professionale e scientifica che una università, pur prestigiosa come quella di Napoli, poteva trasmettere, negli anni del dopoguerra, era insufficiente. Pertanto i laureati scientifici di questa università che, in quegli anni, hanno completato con un certo successo la propria preparazione vanno, in larga misura, considerati degli autodidatti, dei *self-made men*.

Per quanto riguarda la laurea in fisica questa situazione di netto ritardo, rispetto alle realtà del Centro e Nord d'Italia, è stata largamente sanata negli anni Sessanta con la creazione in diverse università meridionali, fra cui quella di Napoli, di sezioni dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) [1].⁴

Con il già citato arrivo a Napoli, nel 1950, di Puppi, vincitore della cattedra di Fisica Teorica, si aprì per noi aspiranti fisici una finestra sul mondo: apprendemmo cosa significasse fare il fisico, negli anni Cinquanta del secolo scorso, e cosa questi investigasse (raggi cosmici, mesoni, interazioni

⁴Per quanto riguarda Napoli risulta, dagli organigrammi INFN, che dal 1957 era sede di una Scuola di Perfezionamento in Fisica Teorica, diretta da Edoardo Caianiello, e dal 1962 è diventata una sottosezione INFN.

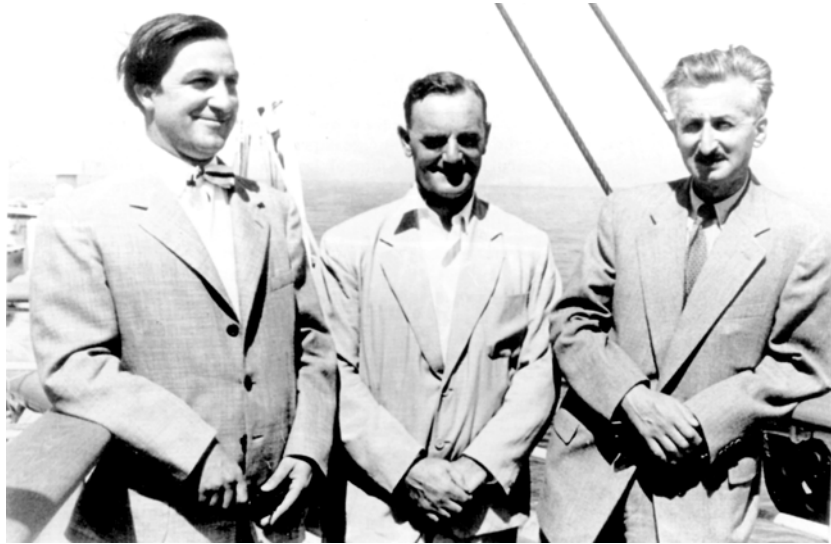


Figura 11.2: Da sinistra: G. Puppi, C. F. Powell, V. A. Nikitin (Cortesia Società Italiana di Fisica).

deboli, . . .). L’incontro con un fisico impegnato nella ricerca di punta, per di più dotato di una spiccata capacità di coinvolgere l’uditorio e di notevoli capacità didattiche, è stato determinante per me, come per i colleghi “napoletani” sopra ricordati.

Nel 1951, su sollecitazione di Puppi, insieme a Vitale e Stroffolini, mi trasferii a Padova. Catapultati da Puppi siamo così passati da una fisica premoderna ad una fisica moderna e altamente coinvolgente.

11.2 Il “gruppo lastre” di Padova

L’istituto di Padova, guidato all’epoca dai teorici Niccoló Dallaporta e Giampiero Puppi ed organizzato da uomini pratici e fattivi come Antonio Rostagni, M. Merlin, A. Loria, era collegato con i più avanzati istituti di ricerca italiani ed europei. Nel campo delle cosiddette “emulsioni nucleari”, avevamo strettissimi rapporti con gli istituti di Bristol (C. F. Powell), Parigi (L. Leprince-Ringuet), Milano (G. Occhialini), Roma (E. Amaldi, G. Cortini e A. Manfredini).

Alcuni lati della vita e dell’organizzazione dell’istituto padovano indicavano



Figura 11.3: L'Istituto di Fisica di Padova progettato e fatto costruire da Bruno Rossi negli anni Trenta.

che si perseguiva un progetto scientifico di sviluppo, cui partecipavano tutti i ricercatori, dai più anziani ai più giovani, ed i tecnici. C'era in tutti noi la sensazione che si stava costruendo qualcosa di duraturo anche per il futuro, nonché la speranza di un futuro migliore. Questa nota di fiducia ed ottimismo, per di più inserita in una società civile tesa a riprendersi dal dramma della guerra e che apprezzava il lavoro degli scienziati, risuona strana oggi di fronte ad una ricerca scientifica non adeguatamente valutata e finanziata nel nostro paese e ad un irrazionalismo ed oscurantismo strisciante.

Per alcuni aspetti nell'istituto di via Marzolo, in cui molti di noi risiedevano, si respirava l'aria di un "college" e di un "monastero". Solo una parte dei laureati aveva una posizione ufficiale, ovvero come si usa dire oggi era "strutturata"; quelli più giovani operavano in una situazione concordata direttamente con il direttore, Antonio Rostagni.

Nei primi tempi di permanenza a Padova venivo compensato mensilmente (se ben ricordo, con circa 30.000 lire), e come me altri ultimi arrivati, con una parte dello stipendio cui rinunciava spontaneamente uno degli "strutturati" (nel mio caso, mi pare, Marcello Ceccarelli).



Figura 11.4: Mario Grilli nel 1953.

La ricerca del “gruppo lastre” di Padova, e quindi anche la mia personale, fu dominata dalla felice circostanza che, proprio negli anni Cinquanta dello scorso secolo, è nata ed esplosa la fisica delle cosiddette “particelle strane” (kappa, lambda, iperoni...)⁵

Il nostro inserimento, cioè di Vitale e mio, nella attività di ricerca del gruppo fu molto rapida ed iniziò, prima che lo studio sulle “nuove particelle” monopolizzasse felicemente l’intera attività del gruppo, dallo studio delle disintegrazioni nucleari prodotte da primari di alta energia.⁶ Questo filone

⁵A partire dagli anni Cinquanta un gruppo sperimentale, che utilizzava la tecnica delle emulsioni o lastre nucleari veniva chiamato “gruppo lastre”.

⁶Queste ricerche riguardarono disintegrazioni nucleari prodotte nelle emulsioni nucleari sia da raggi cosmici [2], sia da protoni monoenergetici [3]. Ricordo ancora con chiarezza come in queste ricerche funzionasse da riferimento una “classica” esperienza, in cui venivano utilizzati protoni di 400 MeV del Nevis Ciclotrone, condotta con la tecnica delle emulsioni nucleari [4]. Una recente ricostruzione storica di quest’ultima ricerca si trova in un ampio contributo di S. J. Lindenbaum [33].

11. Mario Grilli

di ricerca era ben attivo da anni in diversi laboratori europei e americani.⁷ Non è il caso che qui ricordi, ancora una volta, i contributi scientifici del gruppo di Padova alla nascita della fisica delle particelle elementari.⁸ Qui vorrei solo sottolineare come questo gruppo sia stato ben presto in grado di affrontare le varie fasi della sperimentazione nel campo delle cosiddette “nuove particelle”, che in quegli anni si basava sulla esposizione, ad alta quota, di grossi blocchi di emulsioni nucleari, nell’ambito di estese collaborazioni europee [13].



Figura 11.5: Foto del “gruppo lastre” di Padova (fisici e tecnici), ripresa sul terrazzo dell’Istituto nel novembre del 1954. Da destra (con il camice): G. Belliboni, G. Quareni, B. Sechi, M. Grilli e, alla sua destra, M. Ceccarelli.

Le varie fasi della sperimentazione andavano dalla costruzione e lancio dei palloni stratosferici, da utilizzare per la suddetta esposizione, allo sviluppo ed osservazione delle emulsioni, al perfezionamento delle tecniche di misura degli eventi [14], etc. . .

A Padova la costruzione dei palloni era curata dall’ingegnere I. Scottoni, le operazioni di lancio, recupero e sviluppo delle emulsioni prevalentemente da M. Merlin.

Il recupero del carico dei palloni, cioè del blocco delle emulsioni nucleari,

⁷Simili ricerche erano condotte a Londra [6], a Roma [7] e a Padova [8].

⁸Vedi, al riguardo[9] [10] [11] [12].



Figura 11.6: Gruppo lastre di Padova, 1952: Mario Grilli (quinto da sinistra), M. Merlin (in camice), B. Vitale (primo da destra), M. Ceccarelli (secondo da destra).

veniva eseguito anche grazie ai contatti radio con radioamatori che segnalavano l'avvenuta localizzazione del pallone in volo e all'opera dei carabinieri della zona ove il prezioso carico era atterrato.

L'esplorazione al microscopio del contenuto delle emulsioni, tendente alla scoperta di eventi interessanti, veniva sistematicamente eseguita da personale tecnico a ciò addestrato: i cosiddetti "osservatori". Fra questi si instaurava nel lavoro una sana competizione alla ricerca degli eventi più interessanti, di cui, a quei tempi, si conoscevano pochi, a volte addirittura unici, esemplari. Ognuno di questi era siglato, con l'indicazione del laboratorio in cui era stato scoperto (Br=Bristol, Pd=Padova, ...), del numero progressivo dell'evento e del nome dell'osservatore che l'aveva segnalato.

In un articolo, come il presente, essenzialmente basato su personali ricordi, sento di dover esplicitamente citare alcuni di questi osservatori, che erano non solo nostri preziosi collaboratori ed amici, ma anche giovani che, come noi giovani fisici, cercavano un proprio futuro: A. Bernardi, M. Berno, V.



Figura 11.7: Gruppo lastre di Padova in una stanza di lavoro nel 1952: M. Grilli (secondo da sinistra), M. Ceccarelli (al centro), B. Vitale (secondo da destra). È visibile un microscopio per l'osservazione delle lastre.

Chiarotti, B. Dainese, G. Gesuato, D. Narciso.

Su ciascun evento interessante veniva eseguita tutta una serie di accurate misure, al fine di conoscere la natura della particella coinvolta nonché quella delle particelle prodotte dal decadimento o dalla cattura nucleare della stessa. L'analisi completa di un evento spesso non si esauriva nel blocco di lastre in nostro possesso ma proseguiva in quello contiguo a disposizione dei colleghi degli altri istituti, in seguito alla avvenuta suddivisione del grosso blocco di emulsioni nucleari, che aveva "volato" nella stratosfera, in blocchi più piccoli assegnati ai diversi gruppi partecipanti.

Detta suddivisione veniva fatta sulla base del contributo finanziario e organizzativo di ciascun gruppo partecipante alla collaborazione scientifica. Il gruppo di Padova, al riguardo, era considerato fra i "grandi", insieme con il gruppo leader di Bristol (diretto da C. F. Powell).

La standardizzazione delle misure condotte dai diversi gruppi partecipanti e il loro coordinamento erano uno dei punti più critici per la riuscita delle collaborazioni scientifiche europee. A questo fine oltre ai contatti continui fra i singoli ricercatori appartenenti ai diversi gruppi partecipanti, venivano



Figura 11.8: Foto del gruppo lastre di Padova, dicembre 1955. Seduti al centro: N. Dallaporta e M. Baldo, il secondo da sinistra Mario Grilli, in piedi: da sinistra M. Merlin, M. Berno, G. A. Salandin.

organizzati degli incontri, più vasti, di lavoro.

Al riguardo non è possibile non ricordare le note di imprevedibilità, originalità ed entusiasmo prodotte, in questi incontri, da una personalità scientifica quale quella di Giuseppe Occhialini.

Cenni al lavoro di un giovane fisico coinvolto nello studio delle “particelle strane” li ho, recentemente, ritrovati in alcune mie lettere personali (di cui riporto alcuni stralci nell’Appendice 1).

Ovviamente in queste lettere non ho trovato traccia delle preoccupazioni (economiche, gestionali, etc.) che, certamente, in quegli stessi anni spettavano ai colleghi più anziani (M. Merlin, M. Ceccarelli, G. Quarenì), su cui gravava l’organizzazione del gruppo nel suo complesso. Questi problemi, certamente enormi negli anni immediatamente successivi alla fine della guerra, divennero di più facile soluzione quando, nel luglio ’52, gli istituti di fisica di Milano, Padova, Roma e Torino crearono il primo nucleo dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) [1].



Figura 11.9: Bruno Touschek, Giuseppe Occhialini e Connie Dilworth alla conferenza di Pisa del 1955 (cortesía famiglia Touschek).

11.3 Fisica delle particelle e congressi internazionali negli anni Cinquanta

Tre importanti congressi internazionali sulla nascente fisica delle particelle elementari, a cui ho partecipato quale giovane ricercatore,⁹ hanno scandito la mia permanenza a Padova: Congresso di Padova¹⁰ (aprile 1954), di Pisa¹¹ (giugno 1955), di Padova–Venezia (settembre 1957).¹²

Il primo di questi convegni, pensato inizialmente come un incontro fra i componenti dei gruppi lastre che avevano partecipato alla spedizione di Sardegna dell'estate '53 (con 25 lanci di palloni) [16] [13, pp. 187–191], fu successivamente e decisamente allargato sia a gruppi operanti con “camere

⁹Oltre a quelli citati nel testo, a cui ho personalmente partecipato, negli anni Cinquanta ebbero luogo molti altri congressi internazionali, in molti dei quali vennero presentati risultati di ricerche condotte a Padova. Ad esempio: Bagnères-de-Bigorre, 1953; Conferenza Rochester 1957; Ginevra, 1958.

¹⁰I rendiconti del *Congresso internazionale sulle particelle instabili pesanti e sugli eventi di alta energia nei raggi cosmici* (Padova, 12–15 aprile 1954) sono pubblicati su *Supplemento Nuovo Cimento* 12 (2), 167–480, 1954.

¹¹*Conferenza internazionale sulle particelle elementari* (Pisa, 12–15 giugno 1955) in *Suppl. Nuovo Cimento* (Vol. 4) 2, 146–1074, 1956.

¹²I rendiconti della *Conferenza internazionale sui mesoni e sulle particelle recentemente scoperte* (Padova–Venezia, settembre 1957) non sono stati pubblicati su rivista.

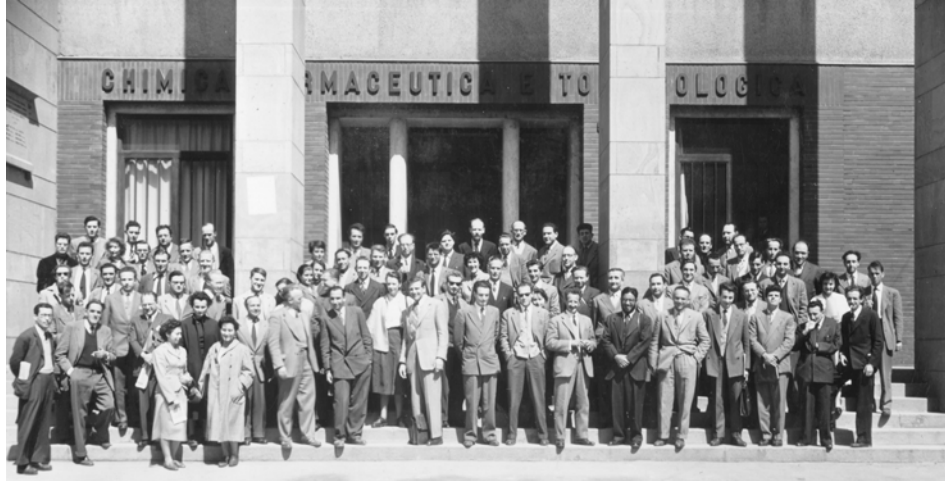


Figura 11.10: Foto di insieme dei partecipanti al congresso di Padova, 1954. In prima fila, a sinistra: E. Pancini, G. Occhialini e E. Amaldi (sullo scalino); al centro: C. Franzinetti, M. Conversi, M. Merlin, N. Dallaporta; davanti al pilastro di destra: A. Rostagni; accanto al pilastro: G. Puppi; sulla destra: M. Ceccarelli e B. Touschek.

di Wilson” sia a gruppi lastre, non partecipanti alla spedizione di Sardegna, che ricercando con emulsioni esposte a grandi altezze “come i laboratori indiani ed americani [...] così larga messe di risultati avevano recato al Congresso di Bagnères-de-Bigorre del luglio 1953” [17].

Il congresso del '54 è coinciso, fra l'altro, con il mio “battesimo del fuoco”, cioè con la mia prima comunicazione (ovviamente breve e in inglese) ad un convegno internazionale, di fronte a fisici illustri (E. Amaldi, P. Astbury, R. E. Marshak, G. D. Rochester, ...) [18].¹³

In questo convegno, inoltre, fu chiesto a R. Levi Setti e a me di riassumere i dati disponibili sugli eventi, osservati in emulsione nucleare, del tipo “unstable fragments”, cioè di nuclei che diventano instabili in seguito alla sostituzione in questi di una Λ^0 al posto di un neutrone [19].

Nel congresso di Pisa del 1955, vennero presentati i risultati della *G-Stack*

¹³Non può meravigliare che detta comunicazione riguardasse i dati di due soli eventi, perché in quegli anni gli esempi di “nuove particelle” erano eventi rari. Si contavano sulle dita di una o (al più) due mani. Incidentalmente ricordo come i due colleghi (G. T. Zorn e B. Sechi) con cui firmai quel lavoro, sono diventati, a metà degli anni Cinquanta, marito e moglie e sono stati sempre miei carissimi amici.

collaboration (Bristol, Dublin, Genova, Milano, Padova) [13, pp. 191–201] che ha rappresentato il massimo sforzo compiuto dalla ricerca fisica europea per lo studio, con la tecnica delle emulsioni nucleari e l’ausilio dei raggi cosmici, della fisica dei “mesoni pesanti” [20].

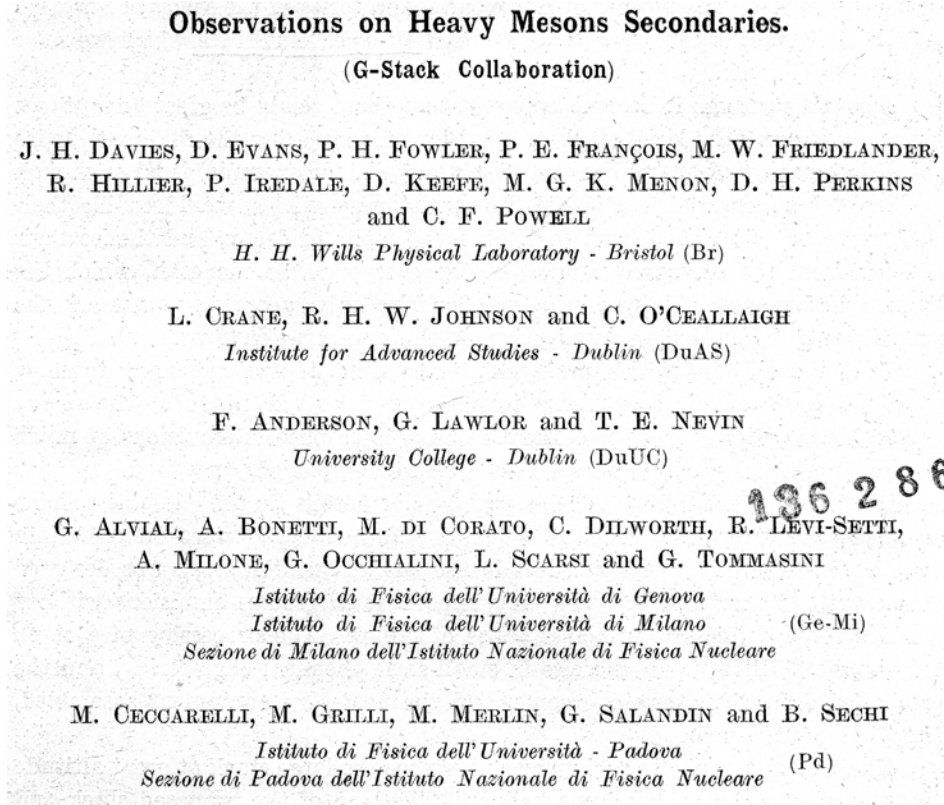


Figura 11.11: Frontespizio del lavoro “Observations on Heavy Mesons Secondaries” [20] con i nomi dei partecipanti alla *G-Stack Collaboration*.

Questi risultati, come è noto, contribuirono decisamente al chiarimento di molti aspetti di detta fisica: natura e massa del K^+ , vita media e canali di decadimento; interazioni del K^- ; proprietà degli iperoni...

Come è stato ricordato da più parti [13, p. 199] [21, p. 244], questa collaborazione fu anche il “canto del cigno” della ricerca sulle particelle elementari, attuata usando i raggi cosmici come sorgente. A partire dalla metà degli anni Cinquanta, infatti, la fisica delle particelle elementari fu egre-

giamente condotta grazie a poderosi acceleratori per protoni (Cosmotrone, Brookhaven, 3 GeV; Bevatrone, Berkeley, 6.3 GeV) operanti in USA. Già alla conferenza di Pisa furono presentati primi risultati ottenuti da gruppi sperimentali operanti nei citati laboratori statunitensi.



Figura 11.12: Varenna, Villa Monastero, 1954. Gruppo di partecipanti al 2° corso della Scuola Internazionale di *Fisica delle particelle elementari e progetti di macchine acceleratrici*, luglio–agosto 1954. Al centro: G. Occhialini e G. Bernardini (dietro di loro G. Puppi, L. Scarsi e B. Vitale), a destra M. Conversi (dietro di lui G. Quarenzi e A. Bonetti) e L. Leprince-Ringuet. In prima fila, da sinistra: A. Borsellino (e alla sua destra dietro di lui, A. Rostagni), P. Caldirola (e dietro a lui G. Fidecaro, B. Rossi e G. Polvani), G. Cini e E. Fermi. Nell'ultima fila G. Salvini (Archivio Società Italiana di Fisica).

A Pisa iniziò, fra l'altro, in contemporanea con il chiarimento del quadro sperimentale, un netto progresso sulla comprensione teorica delle proprietà delle particelle elementari. Ciò è chiaramente evidente nella illuminante relazione di M. Gell-Mann [22], che nel mio personale ricordo fu una delle personalità dominanti del congresso.

Nel riconsiderare lo sviluppo storico della fisica delle particelle emerge immediatamente il ruolo fondamentale e insostituibile avuto, nella costruzione di detta fisica, dalla ricerca condotta con particelle (protone, neutrone, pioni, mesoni kappa, etc...) artificialmente prodotte. Allo stesso tempo va adeguatamente valutato il fatto che questa ricerca si è innestata nel pionieristico, ed altrettanto insostituibile, lavoro di scoperta ed analisi, compiuto



Figura 11.13: Congresso di Pisa, 1955. In prima fila è riconoscibile Edoardo Amaldi; a destra, in seconda fila, Mario Grilli.

in precedenza, utilizzando i raggi cosmici e raffinate tecniche di rivelazione (Camera di Wilson, Emulsioni nucleari, ...).

Con i raggi cosmici è nata la fisica delle particelle elementari, con gli acceleratori di particelle questa si è estesa e consolidata sino a diventare una delle maggiori conquiste intellettuali dell'uomo nel XX secolo [23].

Dopo l'entrata in funzione degli acceleratori americani furono possibili, utilizzando i fasci secondari di K^\pm del Bevatrone di Berkeley, accurate ricerche, alle quali partecipai, sulle interazioni nucleari dei mesoni kappa [24] [26]¹⁴ [27]¹⁵.

Risultati preliminari di queste ricerche furono presentati in occasione della conferenza internazionale di Padova-Venezia del 1957 [28]. La mia comunicazione verteva sul lavoro svolto insieme a L. Guerriero, M. Merlin e G. A. Salandin e lo presentai nella sessione "Interactions of Strange Particles, K^+ and θ^0 ", presieduta da C. O'Ceallaigh.

¹⁴Nel corso di queste ricerche sono stati seguiti i percorsi in emulsione, per diverse centinaia di metri, di K^+ di energia ben definita, compresa fra 40 e 350 MeV, e registrate le diverse interazioni (scattering inelastico, elastico, etc.) subite da questa particella.

¹⁵Nel corso di questa ricerca furono osservati circa 3500 eventi K^- .



Figura 11.14: Congresso di Pisa, 1955: al centro G. Boato e seduto, con gli occhiali scuri, M. Grilli; dietro (seminascosto) G. A. Salandin.

Come sottolineato da M. Baldo Ceolin [11, p. 17]¹⁶ questa conferenza cadde in un momento fecondo della fisica delle particelle, in cui “the breakdown of parity conservation was confirmed by experiment, the antiproton and the neutrino has been discovered, the K_2^0 [cioè la particella K neutra a vita media più lunga] detected, neutrino oscillation predicted...”.

In questo convegno, inoltre, grazie ai risultati sui K e sugli iperoni presentati dai gruppi delle emulsioni nucleari e delle camere a bolle si accumularono ulteriori prove a favore dello schema o classificazione proposti da M. Gell-Mann e da K. Nishijma [29].

Nel riandare indietro ai primi anni del mio lavoro di ricerca mi sono imbattuto in alcune mie vecchie carte, fra cui le mie personali raccolte della bibliografia relative agli anni 1947–1961 (vedi Appendice 2). Rivedendo queste raccolte, scritte con calligrafia ben stretta per guadagnare spazio, ho rivissuto l’interesse con cui leggevo ed annotavo gli articoli, attinenti alle mie ricerche in corso o a temi di interesse fisico più generale, che comparivano sulle principali riviste fisiche del momento.

Ricordo come trovassi formativo un simile studio: questo, insieme al lavoro

¹⁶I principali risultati presentati alla Conferenza di Padova–Venezia sono riassunti alle pagine 17–20.



Figura 11.15: Congresso di Padova–Venezia (1957). Un momento della comunicazione di M. Grilli sulle interazioni K^+ -nucleo, cui seguivano (come scritto sulla lavagna) quelle di Van Rossum (13 minuti) e di G. Goldhaber (8 minuti).

concreto in laboratorio e alle discussioni con i colleghi padovani (sperimentali e teorici) sui risultati conseguiti, mi ha aiutato a comprendere cosa significhi fare ricerca scientifica. Tutto ciò, inoltre, ha generato in me il gusto, che non mi ha mai abbandonato, di voler capire il significato fisico dei risultati sperimentali delle ricerche eseguite.

Finisce qui la mia breve e personale storia degli anni Cinquanta trascorsi a Padova, di cui conservo un felice ricordo in quanto fecondi sul piano scientifico ed umano.¹⁷ Lì ho appreso quale privilegio intellettuale sia osservare eventi naturali, sino ad allora sconosciuti, contribuendo così a chiarire un tassello piccolo, ma nuovo ed inesplorato, della realtà fisica che ci circonda.

¹⁷Sulle ricerche condotte nell'Istituto di Padova negli anni Cinquanta si può vedere, oltre al già citato articolo di M. Baldo Ceolin [11], anche N. Dallaporta [30].

Un altro momento simile è stato da me vissuto, insieme a tanti altri ricercatori (in larga maggioranza più giovani di me), negli anni Sessanta e Settanta sperimentando ad Adone. Queste ultime ricerche hanno, in un certo senso, “colorato” i quark¹⁸ ed aperto il canale delle “particelle charmate” così come quelle svolte a Padova avevano contribuito agli inizi della fisica delle “particelle strane”.

Riandare indietro nel tempo, come mi è capitato di fare nello scrivere il presente articolo, suscita sentimenti contrastanti: al fascino, infatti, che accompagnano i ricordi della giovinezza si contrappone la constatazione che stai parlando di un giovane le cui attese per un mondo più giusto ed una umanità più razionale si sono poco (pochissimo) realizzati.

Alla netta sensazione sul tempo ormai trascorso si aggiunge il pensiero triste dei colleghi ed amici, di tutte le età, con i quali quel tempo hai vissuto e che non sono più fra noi.

11.4 Appendice 1

Ripercorro alcuni momenti del mio percorso padovano, attraverso passi estratti da lettere personali, scritte a Padova nel periodo 1952–1958.

Posizione economica e giuridica

Ottobre 1952: “[...] questo mese ho 30.000 di stipendio ed avrò, in seguito, a partire dal 1° ottobre, un ulteriore aumento (si parla di un minimo di 40.000).”

Novembre 1952: “Ieri il prof. Rostagni ha comunicato a me ed altri amici del gruppo lastre (fra cui Bruno Vitale) che ha proposto la creazione per noi giovani di altri posti di assistente straordinario¹⁹ e che ha buone speranze di ottenere ciò.”

Settembre 1954: “In una riunione a Roma dei Direttori di Istituto (facenti parte dell’INFN) si è discusso, ma non deciso, di dare a tutti un contratto nazionale. A parte questa discussione c’è di positivo che già a Roma e a Milano, da un anno, e a Torino, da quest’anno, si è ottenuta l’assunzione per contratto annuale. Essendo perciò Padova l’unico Istituto, parte dell’INFN,

¹⁸La scoperta (1970) ad Adone di una produzione multiadronica circa 3 volte superiore a quella prevista dalla teoria fu una delle primissime e molto chiare indicazioni dell’esistenza del “colore” dei quark. Vedi [31] [32] e [23, Fig. IV.3].

¹⁹Il compito didattico, come assistente straordinario, consisteva nel seguire i laboratori didattici del I e II anno.

che non ha ancora una simile sistemazione penso che essa sia prossima [...]. In base a questo contratto annuale avrei diritto a 50÷55.000 lire al mese e a scatti ogni 2–3 anni.”

Gennaio 1958: “È stato fissato a circa 115/120 mila lo stipendio mio mensile, come professore incaricato, dal 1° novembre '57, del corso di fisica generale per studenti di Medicina.”

Il lavoro di ricerca del gruppo lastre

Novembre 1952: “Il mio lavoro consiste in varie cose e precisamente: 1) l'esame dei dati delle lastre, su cui dovremo studiare i mesoni pesanti (e ciò già lo abbiamo cominciato a fare appunto con la raccolta e la discussione di questi primi dati); 2) lo studio, che inizierò proprio in questi giorni, per il lavoro sui rinculi; 3) la lettura di vari articoli su argomenti diversi.”

Ottobre 1952: “Del mio lavoro posso dirti che ho ora un osservatore (cioè uno che guarda le lastre al microscopio e nota le stelle e gli altri eventi, così facilitando l'opera di chi poi deve su questi fare alcune misure) e che verranno ancora altri due. Penso che per vari mesi sarò assorbito da questo lavoro sulle 'stelle', che sta a cuore al prof. Dallaporta, poi riprenderò lo studio dei rinculi e a inizio anno (verso aprile) lo spettro dei mesoni.”

Dicembre 1953: “Abbiamo determinato la massa della particella 'caratteristica' (speciale, non usuale) e stabilito che si tratta di un mesone pesante [...]. Ora ci resta la misura delle masse delle due particelle, che escono dalla 'stella' prodotta da detto mesone [...]. L'evento studiato [cattura nucleare di un K^-] è importante perché raro tanto che se ne conoscono appena altri 4–5 casi analoghi in tutti gli altri laboratori!”

5 Settembre 1954: “Proprio oggi abbiamo terminato la raccolta dei dati sperimentali sui rinculi, che nei prossimi giorni discuteremo ed elaboreremo. A grandi linee, in questa prima rivista, ci sembrano essenzialmente concordanti con i risultati previsti dalla teoria e da noi già pubblicati lo scorso anno. Di ciò [Bruno Vitale ed io] siamo evidentemente soddisfatti. In questi giorni mi interessa sempre anche del lancio dei palloni. Attualmente si tratta di un lavoro di organizzazione (cui collaboro) di stazioni di avvistamento (stazioni radio, radar, ecc...).”

7 Ottobre 1954: “Di giorno in giorno a causa delle non buone condizioni del vento si rimanda il volo del pallone stratosferico. Ma [...] ogni giorno sono in piedi verso le 4,30 perchè si curano i collegamenti radio e si ricevono le notizie dalle varie stazioni (Novi Ligure, Milano, ecc.) in previsione dell'eventuale lancio. Infatti si sa se avverrà o meno il lancio solo verso le

6,30–7,00, dopo noti i risultati dei sondaggi sui venti che fanno a Milano verso le 4,00.”

Aprile 1955: “Anche questa mattina ho letto vari articoli sui mesoni pesanti. Erano abbastanza interessanti e li ho letti con vero piacere. L’interesse che destano sorge dal fatto che attraversiamo un momento in cui il quadro si va chiarendo e precisando; si vanno cioè distinguendo per bene vari tipi di mesoni pesanti. Essenzialmente questa chiarificazione è dovuta alla migliore conoscenza delle particelle in cui decadono i mesoni pesanti. In questo campo il contributo di Padova non è piccolo, e spero che ugualmente lo sia per il futuro.”

Maggio 1955: “Stiamo [Bruno V. ed io] discutendo con Hodgson i suoi dati al nostro lavoro sui rinculi [...] e per gettare le basi per una nostra collaborazione [...]. La permanenza a Padova e per un mese di Hodgson mi servirà anche per apprendere un po’ l’inglese.”

Novembre 1955: “Qui ho tanto lavoro [...] in parte per le misure a me spettanti sulle interazioni e in parte per il contributo che devo dare alla direzione del gruppo [...]. Vi sono turni di osservatori in continuazione dalle 8 del mattino alle 7 di sera. In questo momento non sono contento del lavoro del gruppo, perché non si marcia, da parte degli osservatori, con il ritmo e l’impegno necessario. Ne ho parlato con Salandin e con i proff. Dallaporta e Merlin e cercheremo di riportare il lavoro su un ritmo più impegnativo. Cerco anche di trovare il tempo per qualche articolo da leggere o per studiare qualche pagina di fisica atomica o nucleare. Oggi (8 novembre) la Sechi e Zorn si sono sposati”.

Gennaio 1958: “[Il lavoro] procede bene, anche se con ritardo sul previsto, a causa delle lezioni e degli esami. Domani finalmente dovremmo essere liberi dal lavoro sui K^- che è stato assai ampio e laborioso. Così inizieremo la stesura del lavoro sui K^+ dello scorso anno.”

Di congresso in congresso

9 aprile 1954 (Congresso di Padova): “C’è tanto lavoro [...]! Preparazione della comunicazione, delle tabelle con i risultati delle misure e altre attività in preparazione del Convegno. In Istituto c’è un’aria particolare: pulizie speciali, piante enormi lungo le scale, gente che prepara comunicazioni, tabelle ecc.... Siamo quasi alla vigilia. Domani sarà pronta, almeno in parte, la mia comunicazione che sarà, per evidenti ragioni, molto breve [...]. Farò ascoltare la comunicazione a qualche amico, che sa bene l’inglese, per poi saperla bene leggere dinanzi ai congressisti.”

Gennaio 1955 (Congresso di Rochester): “Il lavoro che ora mi impegna è la messa a punto dei dati di Padova sui mesoni pesanti, che il professore [Dallaporta] presenterà al Congresso di Rochester.”

Congresso di Torino, 1956: Come nota a margine di colore, voglio riportare in Figura 11.16 il menù del pranzo sociale di questo convegno, i cui atti sono pubblicati in *Supplemento Nuovo Cimento*.

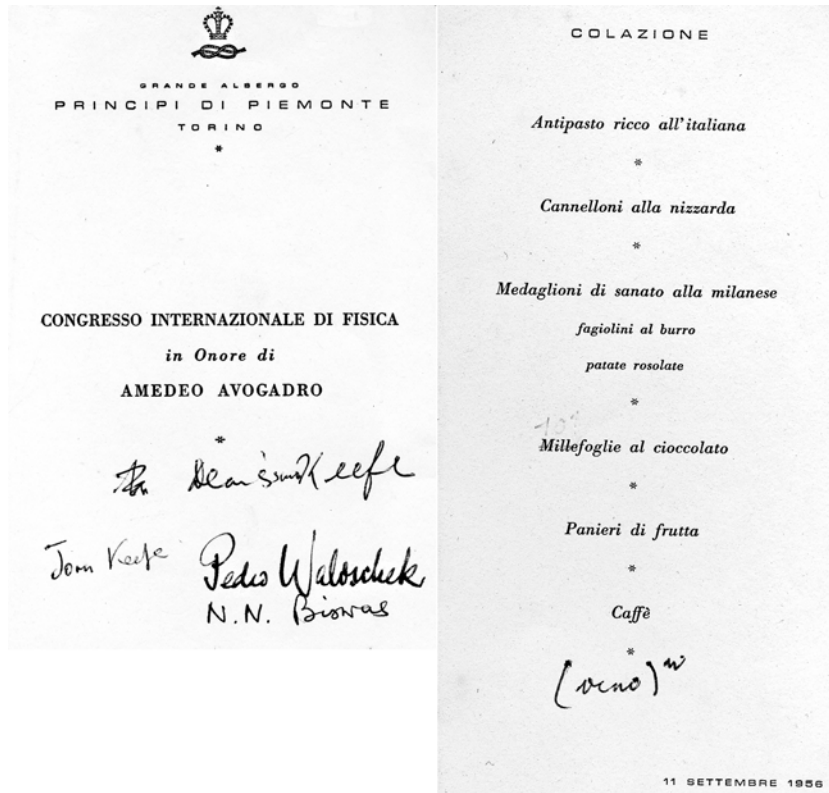


Figura 11.16: Convegno di Torino in onore di Amedeo Avogadro. Menu del ristorante con le firme di alcuni fisici: I coniugi D. e J. Keefe, P. Waloschek e N. N. Biswas.

Settembre 1957 (Congresso di Padova–Venezia): “Il nostro programma [mio e di Luciano Guerriero] è di stendere la relazione, che dovrò fare martedì prossimo. Avremo anche alcune discussioni riguardanti il lavoro, con colleghi e con Dallaporta; abbiamo fatto parecchio per il Congresso e con una buona relazione (critica, calma e chiara) non sfigureremo.”

Il sunto di questa relazione è qui di seguito riportato:

M. Grilli, I. Guerriero, M. Merlin and G. A. Salandin
 (Università di Padova)
K⁺ Interactions with Emulsion Nuclei

About 220 meters of K⁺ tracks have been followed in the energy interval from 20 to 160 MeV.

We present data concerning the inelastic scattering, charge exchange events and K-H collisions. We give:

1. The total inelastic cross section K-nucleus and its variation with energy of the incoming K's.
2. The differential cross sections K-nucleus and K-nucleon, in the Laboratory and C. M. systems. From the analysis of differential and total cross section K-nucleus, we have tried to obtain some information about the K-neutron cross section.
3. The total cross sections K-nucleus and K-neutron for charge exchange.

Further measurements are in progress:

- a) Concerning the characteristics of stars produced in K-nucleus collision (nature, energy and angular distributions of the prongs) in order to test the nuclear model assumed in the analysis of inelastic K-nucleus collisions;
- b) To obtain the differential cross section for elastic K-nucleus events to be compared with the theoretical prediction in order to determine better the value of the nuclear potential K-nucleus.

Marzo 1958 (Congresso di Washington): “Ho bisogno di lavorare per i K⁺, nella prossima settimana, per dare un buon colpo a questa ricerca. Per Pasqua vorremmo aver sistemato i dati sinora raccolti e comunicarli al congresso di fisica di Washington.”

Aprile 1958 (Congresso di Ginevra, 3 luglio): “È ripresa l'osservazione dei K⁺ per ottenere nuovi metri [di tracce di K⁺ osservati] e una maggiore statistica. Il congresso in vista è quello di Ginevra, a fine giugno. I dati così raccolti per questa data saranno pubblicati e così finirà il mio ultimo (o quasi) lavoro con le lastre [...] Per il resto studio elettronica [...]”

Maggio 1958: “Ho ripreso il lavoro sui K⁺, in pieno, e mi dedico alla stesura definitiva della pubblicazione e della comunicazione al congresso di Ginevra.”

Giugno 1958: “Il lavoro per Ginevra sta andando in porto. Abbiamo dovuto lavorare anche questa mattina (domenica) e ieri pomeriggio. Ormai, però, gli eventi sono stati studiati quasi tutti (ne mancano due o tre). Da domani comincerà la raccolta dei risultati, discussione e preparazione della comunicazione da fare a Ginevra.”

Il passaggio ai Laboratori Nazionali di Frascati

Gennaio 1958: “Il gruppo per Frascati, di Padova e Trieste, è in via di costituzione. Per ora di Padova [oltre lo scrivente] c’è solo Greening [...] e, più in là, Italo Filosofo.”

Aprile 1958: “Ho parlato con Dallaporta e Luciano (Guerriero) ed altri dell’incontro con Salvini. È ormai cosa decisa che vada ai primi di luglio a Frascati e che passi, perciò, al gruppo dell’elettrosincrotrone. Ora, perciò, il mio problema è di inserirmi per bene in questo nuovo gruppo e in questo nuovo lavoro. Sono certo di riuscirvi [...].”

Maggio 1958: “È cosa decisa che vada a luglio a Frascati [...]. Nella prossima settimana ci sarà, forse, una riunione a Trieste per discutere l’esperienza da fare a Frascati.”²⁰

11.5 Appendice 2

Qui di seguito riporto l’indice, per argomenti, della bibliografia da me compilata dal 1947 al 1961:

Periodo 1947–1954 (I)

- Raggi cosmici;
- Mesoni, Iperoni: μ (decadimento, interazioni), π (decadimento, interazioni nucleari, produzione artificiale), K, Iperoni, Frammenti instabili, V^0 , V^\pm ;
- Problemi sulle particelle elementari;
- Fisica nucleare: Sezioni d’urto (articoli riassuntivi), Disintegrazioni nucleari (alta e bassa energia), Fotodisintegrazioni e azioni varie dei fotoni, Teoria (modelli nucleari, etc.), Esperimenti (livelli energetici);
- Tecnica delle lastre (ionizzazione, scattering multiplo...);

Periodo 1955–1961 (II)

²⁰La collaborazione Padova–Trieste per sperimentare presso l’elettrosincrotrone non si concretizzò, anche perché l’esperienza proposta (scattering e^+/p ed e^-/p) non venne accettata. Una solida collaborazione Padova–Frascati si costituì nei primi anni Sessanta e portò ad una interessante serie di ricerche sulla fotoproduzione di kappa e di pioni. I fisici di Padova erano L. Mezzetti, M. Nigro, E. Schiavuta, V. Valente, F. Villa. Quelli dei Laboratori Nazionali di Frascati: M. Grilli, F. Soso, P. Spillantini. A questi vanno aggiunti B. Borgia (Roma), P. Joos (Amburgo), P. Gorestein.

- Particelle elementari: μ , π , Kappa, Iperoni, Iperframmenti;
- Questioni generali (particelle, meccanica quantistica);
- Fisica nucleare: Modelli nucleari, Livelli energetici (teoria/esperienza) Sezioni d'urto, Disintegrazioni nucleari;
- Elettrodinamica, interazioni elettromagnetiche: Fotoni (fotoproduzioni, fotodisintegrazioni . . .), Elettroni (scattering, bremsstrahlung, urto e^+/e^- . . .), Questioni generali;
- Varie: Antiprotone;
- Tecniche varie, Relazioni utili, Tavole . . .

Dagli indici degli argomenti su riportati si deduce quali fossero i temi che interessavano un giovane fisico delle particelle, negli anni Cinquanta. Il confronto fra (I) e (II) evidenzia un personale spostamento e allargamento di interessi. In (II), rispetto a (I), scompare la voce raggi cosmici, ormai non più utilizzata come sorgente delle particelle elementari. Compaiono le voci tecniche varie e si estendono gli argomenti relativi ai fotoni ed elettroni. Ciò corrisponde ad interessi anche verso tecniche diverse da quella delle lastre e coincide con lo spostamento, negli anni Sessanta, della mia sede di lavoro da Padova ai Laboratori Nazionali di Frascati (Elettrosincrotrone, Adone).

Bibliografia

- [1] G. Battimelli (a cura di), *L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)*, Bari-Roma, Laterza, 2001, 211–13.
- [2] M. Grilli, B. Vitale, *Nuovo Cimento* 10, 1047, 1953.
- [3] M. Grilli, B. Vitale, P. E. Hodgson (Londra), M. Ladu (Cagliari), *Nuovo Cimento* 12, 880, 1954; 1, 314, 1955.
- [4] G. Bernardini, E. T. Booth e S. J. Lindenbaum, *Phys. Rev.* 85, 826, 1952; 88, 1017, 1952.
- [5] M. De Maria, M. Grilli e F. Sebastiani (a cura di), *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States 1945–1960*, World Scientific, Singapore 1989, pp. 502–506.
- [6] D. H. Perkins, Origin of cosmic rays stars at sea level, *Nature* 160, 707, 1947; Emission of protons and alpha particles in high energy cosmic rays stars, *Phil. Mag.* 41, 138, 1950.
- [7] G. Cortini, Sulla distribuzione in energia delle particelle emesse nelle evaporazioni nucleari, *Nuovo Cimento* 6, 470, 1949.

11. Mario Grilli

- [8] M. Merlin, A. Rostagni, in collaborazione con Malaspina e Pierucci, Stelle di disintegrazione nucleare in emulsione fotografica, *Nuovo Cimento* 7, 145, 1950.
- [9] C. Dilworth, G. P. S. Occhialini, L. Scarsi, Heavy mesons, *Annual Rev. Nucl. Science* 4, 271–314, 1954.
- [10] C. Franzinetti, G. Morpurgo, An introduction to the physics of the new particles, *Suppl. Nuovo Cimento* (Vol. VI) 2, 469–802, 1957.
- [11] M. Baldo Ceolin, The discreet charm of the nuclear emulsion era, *Annual Rev. Nucl. Part. Science* 52, 1–21, 2002.
- [12] M. Grilli, F. Sebastiani, La nascita della fisica delle particelle strane, *Nota Interna* 958, Dipartimento di Fisica, Università di Roma La Sapienza.
- [13] M. Grilli, F. Sebastiani, Collaborations among nuclear emulsion groups in Europe during the 1950's, *Riv. Stor. Sci. (II)* 4, 1, 181–206, 1996.
- [14] M. Grilli, Evoluzione della tecnica delle emulsioni nucleari (I) e (II), *Nota Interna* 860, 22 gennaio 1986 e *Nota Interna* 890, 3 novembre 1987, Dipartimento di Fisica, Università di Roma La Sapienza.
- [15] *Conferenza internazionale sulle particelle elementari* (Pisa, 12–15 giugno 1955) in *Suppl. Nuovo Cimento* (Vol. 4) 2, 146–1074, 1956.
- [16] J. Davies, C. Franzinetti, Report on the expedition to Sardinia, 1953. *Suppl. Nuovo Cimento* 2, 480–497, 1954.
- [17] A. Rostagni, *Prefazione*, *Suppl. Nuovo Cimento* 2, 167, 1954.
- [18] M. Grilli, B. Sechi, G. T. Zorn, Two unstable fragments, *Suppl. Nuovo Cimento* 2, 310, 1954.
- [19] M. Grilli, R. Levi Setti, Report of the Committee on Unstable Fragments, *Suppl. Nuovo Cimento* 2, 466, 1954.
- [20] G-Stack collaboration, Observations on heavy mesons secondaries, *Suppl. Nuovo Cimento* (vol. 4) 2, 398–424, 1956.
- [21] E. Amaldi, in G. Battimelli, G. Paoloni (a cura di), *20th Century physics: Essays and recollections* World Scientific, Singapore, 1998.
- [22] M. Gell-Mann, The interpretation of the New Particles as displaced charge multiplets, *Suppl. Nuovo Cimento* (Vol. 4) 2, 848, 1956.
- [23] M. Grilli, *Oltre l'atomo. Cento anni di particelle*, prefazione di C. Bernardini, Bari, Dedalo, 2002.
- [24] M. Baldo Ceolin, M. Cresti, N. Dallaporta, M. Grilli, L. Guerriero, M. Merlin, G.A. Salandin, G. Zago, *Nuovo Cimento* 5, 402, 1957.
- [25] M. Grilli, L. Guerriero, M. Merlin, G.A. Salandin, *Nuovo Cimento* 10, 163, 1958; 10, 205, 1958.
- [26] D. Keefe, A. Kerman, A. Montwill (Dublino), M. Grilli, L. Guerriero, G.A. Salandin, *Nuovo Cimento* 12, 241, 1959.
- [27] K⁻ collaboration (Bristol, Bruxelles, Dublin, London, Milano, Padova), The interaction and decay of K⁻ mesons in photographic emulsion, *Nuovo Cimento* 13, 690, 1959.

- [28] M. Grilli, L. Guerriero, M. Merlin, G. A. Salandin, *Reports of the Padua–Venice Conference on Mesons and recently discovered particles* (settembre 1957), III, 16.
- [29] C. Franzinetti, G. Morpurgo, An introduction to the physics of the new particles, *Suppl. Nuovo Cimento* (Vol. VI) 2, 1957, cap. 11 (The Gell–Mann and Nishijima scheme).
- [30] N. Dallaporta, Researches on high energy physics in Padua in the period 1945–1960, in [5, p. 532].
- [31] J. D. Bjorken in *Proceedings of the Sixth International Symposium on electron and Photon Interactions at High energy (Bonn, August 27–31, 1973)*, a cura di H. Rollnik e W. Pfeil, North–Holland, Amsterdam, 1974, 25–47.
- [32] B. Benotti, M. Grilli, L. Orlando, Sperimentazione ed Archivio Conversi II: Sperimentazione ad Adone, *Nota Interna* 1050, Marzo 1995, Dipartimento di Fisica, Università di Roma, La Sapienza.
- [33] S. J. Lindenbaum, in [5], pp. 502–506.

Capitolo 12

Carlo Bernardini

Carlo Bernardini nasce a Lecce il 22 aprile 1930 da una famiglia di intellettuali antifascisti. Da suo padre riceve una forte spinta verso i modi di pensare non convenzionali. Giovanissimo sviluppa una grande passione per la musica e per la lettura. Si dedica con accanimento allo studio, spinto dal clima culturale che respira in famiglia e nella provincia meridionale. Coltiva in modo particolare la matematica, anche al di fuori della scuola, ma il libro divulgativo *La Fisica di Carlson* gli fa scoprire una fisica diversa da quella scolastica, che da quel momento diventa il centro dei suoi interessi. Ha sentito parlare di Enrico Fermi e della scuola romana e decide di iscriversi all'Università di Roma, contro il parere di suo padre, che desidera per lui una carriera di notaio.

Si laurea nel 1952 ed entra a far parte del gruppo di teorici guidato da Enrico Persico, che lavora al progetto per la costruzione dell'elettrosincrotrone di Frascati. Catturato dalla personalità umana e scientifica fuori del comune di Bruno Touschek, nel 1960 si trova coinvolto nell'impresa di costruzione di AdA, il primo anello di accumulazione per elettroni e positroni. In seguito si occupa di esperimenti con l'anello Adone, ma gli impegni di insegnamento e una serie di incarichi di tipo direttivo e amministrativo lo distolgono gradualmente dalla ricerca attiva. Nel 1975 diventa preside della Facoltà di Scienze, ereditando una difficile situazione dovuta al clima pesante degli anni della contestazione. Alla fine del 1976 viene eletto parlamentare al Senato della Repubblica, dove si adopera per le riforme scolastiche e universitarie.

Nel 1979 ritorna alla vita accademica e mette in piedi il primo dottorato di ricerca in fisica all'Università di Roma "La Sapienza". Ormai ha definitivamente abbandonato l'attività sperimentale e si occupa di modelli tipo Kaluza-Klein, di equazioni funzionali e di problemi della didattica universitaria.

A partire dal 1983 si dedica intensamente ad attività editoriali attraverso la direzione di riviste come *Sapere* e *Riforma della Scuola* (in collaborazione con Lucio Lombardo Radice), la cura di una collana scientifica per gli Editori Riuniti, la pubblicazione di manuali di fisica e di libri di divulgazione. Successivamente i suoi interessi si sono spostati verso la storia della fisica, ai cui problemi, accanto a problemi di politica della scienza, continua a dedicarsi.

Dal 2007 è Professore Emerito nel Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza".¹

12.1 La formazione giovanile e gli anni universitari

Il momento in cui arrivai a Roma, nell'autunno del 1947 (a 17 anni), per iscrivermi all'Università, era immediatamente successivo a una grande discontinuità della storia: la Seconda Guerra Mondiale. Da giovani, e stando dentro al cambiamento sino al collo, ci si rende conto dell'eccezionalità della situazione con qualche difficoltà; ciò che appare e si impara al momento è il racconto degli adulti, dei reduci che hanno finalmente recuperato il luogo a cui avevano già sognato di legare la propria vita e per il quale avevano già lottato contro le avversità innaturali di un conflitto. Quando arrivai, con l'intenzione di iscrivermi a matematica, bastò poco per riconoscere che i pur grandi matematici romani non avevano il fascino dei loro colleghi fisici: se i matematici (in media più anziani) sembravano continuare una maestosa tradizione poco toccata dagli eventi, i fisici (più giovani: Edoardo Amaldi non aveva 40 anni!) erano indubbiamente impegnati a ricostruire un ambiente che sembrava essere stato a un tempo distrutto e deportato verso sponde più accoglienti, sulle quali, segretamente, la fisica era radicalmente cambiata. Lo smisurato investimento nel Progetto Manhattan aveva prodotto in pochi anni nuove conoscenze che facevano apparire il rientro, a chi ne era rimasto fuori, un viaggio nel futuro. Nel 1946, a pochi mesi dalla cessazione delle ostilità con l'enorme scempio di Hiroshima e poi di Nagasaki (6 e 7 agosto 1945), uno studente liceale poteva già leggere il tempestivo libro sull'Energia Atomica di Henry DeWolf Smith [1] che l'editore Bardi si era premurato di diffondere nella versione italiana: e lì, dopo le notizie della pila atomica CP1 di Chicago che Enrico Fermi aveva fatto

¹Si veda anche il colloquio di Carlo Bernardini con Luisa Bonolis nel volume *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero*, Marsilio 2003.

12. Carlo Bernardini

funzionare nel dicembre del 1942, dopo l'incredibile descrizione del test di Alamogordo del luglio 1945, una certa incuriosita esaltazione aveva fatto effetto. La fisica non era un armadio di picnometri, barometri e cassette di Ingenhausz, non era il ponte di Wheatstone e nemmeno il telegrafo senza fili con cui si ammodernavano i manuali. La fisica era molto ma molto di più. Molto di più, e molto ancora da fare.



Figura 12.1: Carlo Bernardini nel 1958.

Qualche idea me l'aveva già data un libro di divulgazione del tempo, di fascino straordinario [2]. Il biennio di scienze metteva insieme matematici, fisici, matematici e fisici (ormai scomparsi) e una maggioranza di ingegneri: stessi corsi di Analisi, di Geometria, di Fisica generale, di Meccanica razionale. A differenza di ciò che avviene oggi, i grandi professori di provata esperienza, matematici e fisici, insegnavano alle matricole. Senza dubbio,

i docenti di matematica, Mauro Picone, Fabio Conforto, Aldo Ghizzetti avevano il loro carisma nel rigore; ma già ciascuna lezione introduttiva di Meccanica di Gilberto Bernardini, per il corso di Fisica 1 (Fisicon, nel gergo studentesco) era un insegnamento indimenticabile che toccava le corde più riposte dell'intuizione e della razionalità. Mi trasferii precipitosamente da Matematica a Fisica: fu come lasciare un solenne ricevimento ufficiale per andare in trattoria con gli amici. Di lì in poi, finché non mi laureai, pur condividendo con i compagni matematici ancora altri maestri prestigiosi come Enrico Bompiani o Antonio Signorini, le sorprese che avrei trovato tra i fisici non finirono di sbalordirmi. Avevano nome e cognome: Edoardo Amaldi, Bruno Ferretti, Ettore Pancini, per non parlare dei pedagoghi (oggi ribattezzati *tutors*), nientemeno che Ruggero Querzoli e Gherardo Stoppini, poco più anziani di noi, non ancora leaders ma tali di lì a poco: la pratica di usare i giovani laureati per il training duro delle matricole è stata malauguratamente abbandonata, ma allora produceva sfide intellettuali estremamente coinvolgenti; si affrontavano insieme problemi veri e non presi dai repertori. Per completare lo sbalordimento, di lì a poco (1952) arrivò stabilmente Enrico Persico; per non dire dei visitatori mitologici, Emilio Segrè, Franco Rasetti, Ugo Fano e, già, prima nel 1949 anche a Roma e poi a Varenna, Enrico Fermi, nel 1954, poche settimane prima che scomparisse.

Tutto questo straordinario Olimpo della fisica italiana sembrava che lavorasse solo per noi, meno di una decina di studenti estremamente assidui. Studiare, indipendentemente dai corsi e dagli esami, sembrava l'ovvia cosa da fare: conoscevo a menadito la "Fisica teorica" di Georg Joos, il celebre "Atombau" di Sommerfeld, i "Nuclei" di Rasetti, "Molecole e cristalli" di Fermi e la "Meccanica atomica" di Persico (tre fortunati acquisti negli usati), la "Teoria dei Mesoni" di Marshak (che prestai a Gilberto Bernardini che non lo aveva letto), i "Campi" di Wentzel, i "Raggi Cosmici" di Jánossy, la "Teoria dei Mesoni" di Pauli, i vari libri di Neville Mott: con Massey, con Gurney, con Sneddon, l'"Elettrodinamica" di Heitler, la "Teoria dei solidi" di Frederick Seitz e non ricordo più cos'altro [3]. Era sottinteso che per essere un fisico si dovesse essere autodidatti: ma quello che facevamo io e i miei compagni di quegli anni² da studenti, era assolutamente fuori da

²Andreina Angelucci, Annetta Baroni, Bianca Maria Belli, Maria Cervasi, che passerà al CERN; Giorgio Cortellessa, poi all'Istituto Superiore di Sanità; Elio Fabri, poi professore a Pisa; Silvia Tamburini.

12. Carlo Bernardini

ogni standard. Persico era un bibliomane coltissimo e governava la biblioteca attraverso la signora Cesarina Ferrari, madre di un bravo fisico (Ezio, più giovane di noi): nella biblioteca, mi sentivo a mio agio, anche con la classificazione decimale riformata da Persico. Ma, appena avevo qualche soldo, compravo libri per me.



Figura 12.2: Da sinistra: Maria Cervasi, Silvia Tamburini, Carlo Bernardini in Val d'Aosta nei primi anni '50.

Grazie a un amico di mio padre, un certo professor Elia, ereditai l'immane trattato russo di Chwolson, nell'edizione francese [4] (imparai più tardi che era stato una bibbia per Fermi; ma io lo consultai soltanto; constava di oltre 5.000 pagine, sino agli albori della relatività). Le letture più leggere erano i formidabili libri di divulgazione che l'editore Einaudi si premurava di far tradurre in italiano. L'Istituto, peraltro, era in grande fermento: l'esperimento Conversi-Pancini-Piccioni [5] aveva fatto fare un salto enorme alla fisica delle particelle elementari; l'osservazione di tracce con le emulsioni nucleari era diventata una vera specialità romana (Augusta Manfredini, Giulio Cortini, Carlo Castagnoli, Giustina Baroni); gli "elettronici", specie Italo Federico Quercia, Franco Lepri, Brunello Rispoli e Sebastiano Sciuti, battevano i campi di residuati bellici (ARAR) alla ricerca di componenti utili (valvole gigantesche) con cui costruivano oscilloscopi e circuiti di coin-

cidenza alla Rossi per contatori. Il tema di discussione quotidiano erano i “tempi”, la “risoluzione temporale”: la sfida, il nanosecondo (il microsecondo era già stato un traguardo degli anni '30, indispensabile per la vita dei mesotroni, oggi “muoni”). Il gioiello in corso di attivazione era il Laboratorio della Testa Grigia, sul Cervino; e già nella mia prima vacanza estiva (nel 1948) mi precipitai lassù a cacciare il naso tra i telescopi di contatori Geiger di Carlo Ballario, Giuseppe Fidecaro e Lucio Mezzetti. Furono gentili con me e mi spiegaronò il lavoro iniziato sugli sciami di raggi cosmici. A Roma, si collegavano via radio: l'antenna era sul tetto, il collegamento era “America, Italia, Yokohama. . . , passo e chiudo”.

12.2 L'incontro con Enrico Persico e l'ingresso nella ricerca

Il 19 marzo 1952 mi laureai con Bruno Ferretti, che nell'ultimo paio di mesi prima della tesi mi abbandonò a me stesso per altri impegni fuori Roma, scaricandomi a sua moglie Maria che di meccanica quantistica appariva poco pratica. Fu una laurea scialba, su certe autofunzioni che mi sembravano una brillante idea per lo ione molecolare d'idrogeno, di cui non si accorse mai più nessuno. Avevo il privilegio di dialogare con Mario Ageno, già traslocato all'Istituto Superiore di Sanità; Ageno faceva prove con scintillatori liquidi e io, nelle mie fameliche letture, avevo studiato il trasporto radiativo, su un meraviglioso libro di Subramanyan Chandrasekhar e conoscevo la teoria di un norvegese, un certo Johan P. Holtsmark (1894–1975) della quale avevo avuto modo di parlare con Ugo Fano in una delle sue visite (“Ugaccio”, ovvero “l'Urango Fanoide”, con la sua Camilla, erano amici degli Amaldi che, quando loro arrivavano a Roma, facevano grandi feste). Ageno mi fece fare qualche seminario sul trasporto radiativo nei liquidi, ma non ci si cavò granché di nuovo che fosse interessante per i suoi scintillatori. Arrivò Persico. Gilberto Bernardini con Giorgio Salvini si lanciarono sulla via degli acceleratori per tirarci fuori dalla marginalità strumentale in cui ci eravamo ridotti con la guerra. Miracolosamente, il governo, pur restio, trovò i finanziamenti. Era già nato il CNRN, filiazione “nucleare” del Consiglio Nazionale delle Ricerche, presieduto da Francesco Giordani, luminare della chimica napoletana che aveva scelto come Segretario Generale un geologo, Felice Ippolito, che nell'energia nucleare vedeva un futuro di estremo interesse. La fisica nucleare stava vivendo il periodo d'oro e bisognava es-

12. Carlo Bernardini

sere presenti. Salvini ebbe l'idea straordinaria di reclutare neolaureati per l'acceleratore di cui aveva preso la direzione (a 33 anni!). Persico costituì un gruppo teorico per la progettazione della macchina, che sarebbe stata un sincrotrone per elettroni (ben presto, dopo un'accesa discussione e una visita negli USA di G. Bernardini e Salvini che si convinsero dell'insufficienza dei 600 MeV del progetto iniziale, l'energia fu fissata a 1.100 MeV). Per qualche motivo fortunato, Persico mi prese in simpatia e propose a Salvini di assumermi. Cominciò così una intensa attività quotidiana: noi teorici più Franca Magistrelli. Angelo Turrin e io (di lì a poco arrivò anche Giorgio Sona) eravamo a Roma, con Persico; lo staff, con il direttore Salvini, era a Pisa. Periodicamente, a Pisa si svolgevano seminari collegiali; a Roma, invece, andavamo a lezione da Matthew Sands, un fisico di Caltech, che aveva molta pratica di elettrosincrotroni: a Pasadena ne avevano costruito uno come quello che volevamo costruire anche noi.



Figura 12.3: Da sinistra: Alberto Caracciolo di Forino, Giacomo Morpurgo, Giorgio Careri, Enrico Persico, Daniele Cunsolo, Antonino Gamba, Roberto Stroffolini, Bernardino Bosco. Dopo il banchetto sociale tenuto in occasione del Congresso Nazionale della SIF a Cagliari nel 1953, Persico fu posto a sedere di forza sopra il tetto di un'automobile e portato in trionfo. Didascalia tratta dal "Ricordo di Enrico Persico" scritto da Edoardo Amaldi e Franco Rasetti (*Giornale di Fisica* XX (4) 1979, 235–260). Cortesia di Alessandra Raggi.

Persico era stato un po' in Canada, dopo Torino; si era occupato di progettazione di magneti per spettrografi di massa ad alta risoluzione. Per questo, aveva lavorato molto su problemi di calcolo numerico, con varie tecniche: soluzione di equazioni ellittiche con condizioni al contorno corrispondenti a profili magnetici alquanto bizzarri per la correzione dei *fringing fields*. Ciò di cui si disponeva, in quei primi anni '50, erano due calcolatrici elettriche, una Marchant e una Monroe, che facevano un baccano infernale. Ma poi, con Franca Magistrelli Persico, aveva messo insieme già da qualche tempo una "rete di resistenze" sui cui bordi si potevano fissare facilmente condizioni qualsiasi. A me la rete non piaceva, ma mi misi subito a macinare numeri con la Marchant (Persico riservava la Monroe per sé; oggi, entrambe appaiono in una vetrina del Dipartimento di Fisica alla Sapienza). Ma mi buttai a studiare la possibilità di fare qualcosa di meno tedioso e fu così che scoprii le trasformazioni di Schwarz-Christoffel che, lavorando con profili magnetici poligonali, forse facevano al caso nostro. Persico non si fidava ma si compiacque. Quando gli portai qualche risultato che era in accordo con i calcoli numerici o con la rete, si fece raccontare per filo e per segno che cosa avevo fatto. Una sua caratteristica era quella di registrare la bibliografia di ogni novità; e anch'io, da allora, faccio così. A quel tempo, usavamo schede scritte a mano, grandi quanto carte da visita e messe in ordine alfabetico marcato da gancetti colorati ("cavalierini") che Persico aveva scovato in magazzino, e poi infilavamo il tutto in vaschette di legno su misura prodotte dalla falegnameria dell'Istituto (ne ho ancora). Persico mi disse che aveva scovato una vecchia proposta secondo la quale era possibile simulare traiettorie di elettroni relativistici in campi magnetici non omogenei mediante un filo conduttore meccanicamente teso e percorso da corrente. Mi disse che era una tecnica non semplicissima da realizzare. Ma io mi precipitai a costruire il marchingegno e ci riuscii: sicché mi fece scrivere il mio primo lavoro, per i Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei [B1]. In quel periodo, calcolammo tutto ciò che si poteva calcolare per la macchina: effetti di risonanza nelle oscillazioni di betatrone, cattura a radiofrequenza, misuratori dell'intensità del fascio circolante, spettro della radiazione di sincrotrone, effetti di carica spaziale, possibili metodi di estrazione del fascio, eccetera: una massa cospicua di rapporti interni si è poi convertita in un capitolo del libro che fu compilato a cura di Salvini a Sincrotrone ultimato [7]. Inoltre, a un convegno sugli acceleratori a Ginevra portai un lavoro sullo scattering e le perdite del fascio, piuttosto corposo

[B2] che a Persico non era dispiaciuto e che fu ripreso anche da Bob Wilson nel suo articolo dello *Handbuch der Physik*. Il mio contributo più originale riguardò un problema di carica spaziale [B3] negli elettrosincrotroni.

12.3 Il lavoro con l'elettrosincrotrone di Frascati

Ma siamo, così, già al 1959. Ci eravamo tutti trasferiti a Frascati, a cantiere ancora aperto, nel 1956. Avevamo vissuto la rinuncia al focheggiamento forte [8] che però Robert Wilson con i suoi avevano adottato per Cornell, a Ithaca, per una macchina di dimensioni simili alla nostra: ma fu una scelta saggia. Avevamo vissuto il cambiamento dell'iniettore da 1.5 MeV, il Cockroft a pressione della Passoni e Villa disegnato all'Istituto di Sanità da Ageno con i suoi, sostituito con un van De Graaf da 2.5 MeV che rendeva meno critici gli errori a basso campo (avevamo affrontato il problema come teorici della macchina). Salvini aveva deciso molto saggiamente che i neonati Laboratori di Frascati dell'INFN non potevano fare a meno di un gruppo teorico interessato agli esperimenti e non solo alla macchina: perciò, invitò dapprima Giacomo Morpurgo che però non si adattò mai alla spregiudicatezza poco accademica degli indigeni e ben presto andò via; poi venne Raul Gatto, seguito da giovani allievi di prim'ordine; finalmente, arrivò Bruno Touschek, che era già a Roma da qualche anno. Anche a Roma l'Istituto era visitato da bravissimi teorici attratti da Bruno Ferretti: Eduardo Cianiello, Luigi Arialdo Radicati di Brozolo, Gerhart Lüders, e altri di più effimera permanenza. Persico conservava una posizione isolata, distaccata, dedicandosi a insegnamenti sofisticati: Fisica superiore, corsi post laurea di Acceleratori e di Reattori nucleari: per seguirlo, pendolavo tra Roma e Frascati; ma intanto avevo avuto i miei incarichi d'insegnamento, prima Laboratorio ("Fisichetta"), poi Matematica per Chimici, poi Spettroscopia, in sostituzione di Gilberto Bernardini migrato nell'Illinois (Urbana). Feci, con successo, la mia Libera Docenza, e un concorso da Assistente. Ma dipendevo da Frascati (allora CNEN). Persico, sempre cortese e affettuoso, mi ascoltava quando passavo a trovarlo; al momento, a lui interessavano i plasmi (di cui si era già occupato in Inghilterra con Arthur Eddington per un modello del Sole) e aveva stretto rapporti con un simpatico personaggio finito fortunatamente in Italia: il cecoslovacco Jiri Linhart.

Mi staccai da Persico, quasi con senso di colpa, e mi legai a Bruno Touschek. Ero diventato un ibrido: i teorici mi trattavano come uno sperimentale che

era in grado di comunicare con loro, gli sperimentali come un teorico che progettava esperimenti. La popolazione frascatana era cambiata notevolmente: da tutta Italia erano stati progettati esperimenti e ora gli apparati venivano montati in loco: il più celebre era il “magnete di Beneventano”, (Marcello), che però rimase chimerico. Certi problemi teorici mi attiravano di più. In effetti, quando incominciò l’era dei mesoni vettoriali, partecipai al primo esperimento con il sincrotrone ma tenevo i contatti epistolari con Yoichiro Nambu e Surai N. Gupta.³

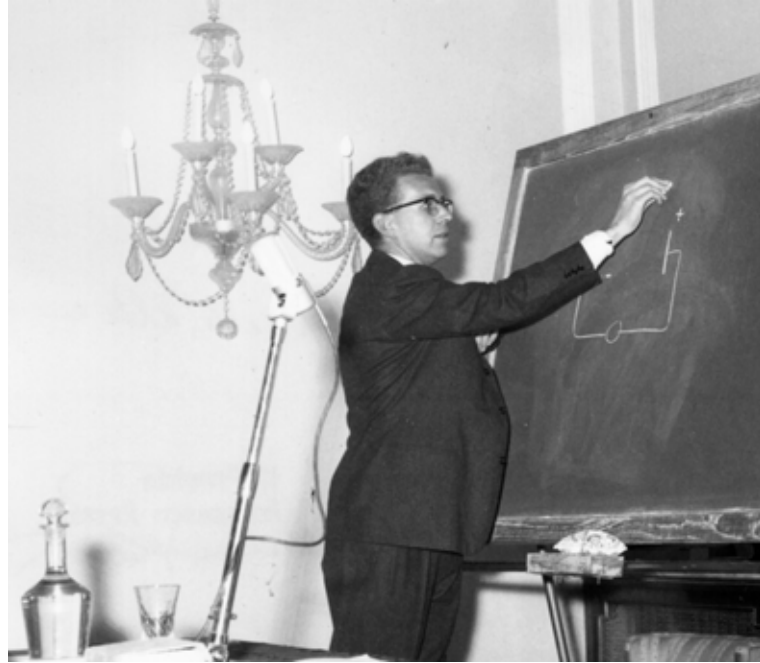


Figura 12.4: Carlo Bernardini tiene una conferenza sulle ricerche di fisica delle alte energie nei Laboratori Nazionali di Frascati al Liceo Scientifico C. De Giorgi di Lecce (2 maggio 1963).

Poi mi feci tentare da un esperimento di elettrodinamica (QED) fortemente voluto da Gherardo Stoppini, la fotoproduzione di coppie di mesoni μ a grande angolo (WAMP = Wide Angle Mu Pairs). A quel tempo, alcuni

³Lettere di C. Bernardini e G. Stoppini a Y. Nambu, 1 e 24 aprile 1959; lettera di Y. Nambu a C. Bernardini, 14 aprile 1959. Le lettere sono incollate all’interno del “quaderno tipo Quercia N. 2”, 17 marzo 1959 – 6 luglio 1960 (collezione personale).

colleghi americani puntavano tutto sul breakdown dell'elettrodinamica e la lettera W costellava le proposte perché stava per Wide Angle, ossia grandi momenti trasferiti, verso un presunto *cutoff* costituito da una grande fantomatica massa di una particella sconosciuta. Touschek discuteva arrabbiandosi: secondo lui, QED era l'unica conquista solida dei fisici e non si sarebbe rotta come volevano quelli là. Per fortuna, durante la guerra Bruno aveva lavorato per acceleratori di elettroni e trovammo un effetto, studiato alla buona da Sands [9] che ci fece lavorare insieme su certi risultati che Fernando Amman stava ottenendo con il sincrotrone (perdite radiative del fascio). Ne nacque un certo reciproco rispetto, specie da parte mia. Discutevamo, senza sosta: Bruno non era molto convinto degli esperimenti che si potevano fare con il sincrotrone che, pure, era una delle migliori macchine acceleratrici esistenti.

12.4 Bruno Touschek e la fisica delle alte energie

Appena la macchina entrò in funzione, molti dei cosiddetti “macchinisti”, me compreso, apparvero disoccupati; Felice Ippolito tentò di adescarci nel campo dei reattori ma Giorgio Salvini si arrabbiò moltissimo, perché non voleva disperdere lo staff: nemmeno gli ingegneri (Mario Puglisi, Giancarlo Sacerdoti, Fernando Amman, Romano Toschi) furono tentati; Toschi però contribuì ben presto a mettere in piedi, con Bruno Brunelli, un'attività sperimentale sui plasmi.

Per capire, però, come stavano le cose, bisogna dare una rapida fotografia della fenomenologia dominante all'epoca. Le simmetrie discrete C, P e T sembravano il problema più serio, ma bisognava avere processi deboli sotto mano e il sincrotrone non era la sorgente più adatta. I mesoni K, la stranezza, il *mixing* tenevano banco, ma non avevamo energia sufficiente. La “teoria”, a parte SU(3), i quark e le nuove regole di selezione, aveva preso strade poco eccitanti, anche se uno stuolo di specialisti si estenuava su problemi legati alle rappresentazioni di Tullio Regge, alla analiticità delle ampiezze, alle relazioni di dispersione, alle regole di somma, all'assiomatica dei campi, al bootstrap, al teorema di Pomeranchuk, ai modelli di “evasione e cospirazione”, alle ampiezze di Veneziano, alla “democrazia nucleare” di Chew e quant'altro. Francamente, visto a posteriori, il tutto appariva un brancolamento in una jungla di matematiche un po' gratuite. *La spirale delle alte energie* [10] scrissero Silvio Bergia e Angelo Baracca,



Figura 12.5: Da destra: Enrico Persico, Silvia Tamburini, Giorgio Salvini, Carlo Bernardini negli anni '50 (Cortesia di Alessandra Raggi).

subito deprecati dall'intera comunità (ma Bergia era di sicuro in perfetta buona fede). Poiché gli anni erano quelli che preludevano alla rivolta studentesca nel mondo, un po' di protesta politica inzaccherò anche la fisica e i fisici, tacciati di scientismo e di insensibilità sociale: uscì *L'ape e l'architetto*, di Giovanni Ciccotti, Marcello Cini, Michelangelo De Maria e Gianni Jona-Lasinio, un libro che a molti (me compreso) sembrò una forzatura, un guazzabuglio ideologico informe ma pericoloso.

Bruno Touschek sembrava indenne da queste piccole bufere: era affascinato dalla fisica dei neutrini e dalla fisica che faceva Robert Hofstadter a Stanford con gli elettroni del suo piccolo LINAC. Bruno sosteneva che “il vuoto è un dielettrico” che risuona su frequenze adroniche per eccitare le quali bisognava trovare il modo di produrre fotoni virtuali di elevato quadrimpulso trasferito di tipo “tempo” (*time-like*), cioè convertibili in masse con numeri quantici $J^{PC} = 1^{--}$ (quelli della *one-photon approximation* del diagramma di Feynman all'ordine più basso di α). Hofstadter infatti lavorava allo scattering elastico $e - p$, cioè con quadrimpulsi di tipo spazio (*space-like*); per capire la struttura adronica del vuoto bisognava sperimentare sul prolungamento analitico corrispondente al semiasse *time-like* del modulo quadrato dell'impulso trasferito. Credo che fu questo semplice modo di rappresen-



Figura 12.6: Bruno Touschek e Edoardo Amaldi negli anni '50.

tarsi le cose a fargli capire che l'annichilazione materia-antimateria era la chiave di volta per accedere al serbatoio dell'universo, il vuoto. Per quello che posso ricordare delle nostre conversazioni, un buon processo elettrodinamico come l'annichilazione di elettroni con positroni offriva l'opportunità che andava cercando, purché le condizioni cinematiche fossero tali che dalla scomparsa della coppia elettrone-positrone venisse un grumo di energia elettromagnetica, densissimo ma fermo. L'immaginazione di Touschek è forse una delle sorprese più esaltanti di cui era dato di godere conversando con lui. Per di più, questa immaginazione era uno stupendo antidoto contro la fenomenologia in voga di cui ho già parlato prima. E non erano ancora spuntati i magici mesoni vettoriali $J^{PC} = 1^{--}$ che avrebbero riempito la "vector dominance" con cui J. J. Sakurai avrebbe dato vita a uno dei più fortunati modelli fenomenologici dell'epoca[11]. Ma come ho già ricordato, il primo esperimento con il sincrotrone fu proprio una ricerca del mesone vettoriale neutro ρ^0 suggerito da Y. Nambu. Da lì, oltre che dal desiderio di concentrare l'attenzione sui cosiddetti "fattori di forma", i simulacri della struttura interna delle particelle elementari, venne l'idea di AdA, l'Anello di Accumulazione per elettroni e positroni. Sotto la pressione dell'immagi-

nazione di Bruno mi sarei poi dato da fare perché si facesse al sincrotrone un esperimento di elettrodinamica in cui, nella rappresentazione diagrammatica di Feynman, già al prim'ordine comparisse un momento trasferito time-like in uno dei diagrammi; convinsi Ruggero Querzoli e Sandro Vitale della opportunità di provare la *Bremsstrahlung* a grande angolo [B5] (*Wide Angle Bremsstrahlung* = WAB): un esperimento “classico”, assai meno elegante di ciò che voleva Bruno. Anche perché il quadrimpulso time-like era quello di un elettrone virtuale e l'eventualità che si trattasse di un fantomatico e^* , l'elettrone pesante capace di decadere secondo $e^* \rightarrow e + \gamma$, a differenza dei mesoni μ , era assai remota.



Figura 12.7: L'anello AdA nei Laboratori Nazionali di Frascati.

L'avvio di AdA è stato ormai ampiamente descritto.⁴ Voglio solo ripetere due considerazioni che mi stanno a cuore: da un lato, eravamo fieri (Bruno Touschek, Gianfranco Corazza, Giorgio Ghigo ed io) di avere avuto un'i-

⁴Una bibliografia completa si trova in [B6]; si veda anche [23].

dea migliore, dal punto di vista della fisica, di quella degli anelli tangenti [12] di Princeton–Stanford, che non potevano fare altro che lo scattering $e - e$ a causa della carica dello stato iniziale; dall’altro, eravamo altrettanto fieri di non avere seguito le folli idee dei macchinisti che volevano fare le assurde macchine FFAG. A quel tempo, i fisici proponevano ciò su cui era interessante lavorare e i macchinisti progettavano le macchine per lavorarci: tra le due specialità non c’era un’intesa perfetta; ai macchinisti interessava di più un’innovazione tecnica ingegnosa,⁵ ai fisici interessava di esplorare qualche *terra incognita* nello spazio delle fasi.⁶ I primi avevano avuto il loro successo con il focheggiamento forte, i secondi avevano puntato sugli anelli tangenti per rifinire i fattori di forma di Hofstadter con un eventuale fattore elettronico. Ma noi, che univamo pretese da fisici e macchinisti in un sol gruppo avevamo imbroccato la strada che di lì a poco avrebbe trasformato la fisica sperimentale delle alte energie. Curiosamente, i macchinisti si entusiasmarono quasi solo per il “vantaggio cinematico” del lavorare nel centro di massa; i fisici (e noi di AdA) eravamo entusiasti di quel bel fotone time-like così promettente. È vero, la struttura di AdA era la più semplice possibile e, per l’iniezione, ci eravamo affidati alla buona sorte. Ma se ricordo i seminari fatti in giro per l’Italia negli anni ’60-’61, in cui tutti erano increduli circa la reale possibilità che i due fasci contrapposti si “incrociassero” (“basta un niente per separarli”, obiettavano tutti) dando luogo a una luminosità apprezzabile, posso dire che in soli tre anni questa possibilità fu dimostrata sperimentalmente (Touschek attribuiva il miracolo al “teorema TCP”). I soli miglioramenti all’iniezione venivano da una breve modulazione impulsiva della tensione di RF durante l’impulso dell’iniettore nonché dall’uso del LINAC di Orsay.

La proposta di usare il loro LINAC ci venne da Pierre Marin, che poi lavorò con noi, prima con François Lacoste e poi con Jacques Haïssinski; degli italiani, si unirono al gruppo Ruggero Querzoli e Giuseppe Di Giugno, preziosissimi sia come fisici che come elettronici. L’impianto a RF di AdA merita una menzione a parte: la cavità era complicata (asimmetrica), il circuito di modulazione sincronizzato al Linac (pochi nanosecondi) difficile da mettere a punto, ma Mario Puglisi, Antonio Massarotti e Dino Fabiani

⁵Sorte analoga aveva, con più fortuna ma anche più difficoltà, la fisica del plasma: vedi, per esempio, l’invenzione russa dei Tokamak, in contrapposizione agli Stellerator americani e alle idee sui compressori laser di deuterio.

⁶Che per alcuni eminenti teorici americani, Sidney Drell per primo, era la QED ad elevatissimi momenti trasferiti [13]. A questo proposito si veda anche [B7].



Figura 12.8: Aula Amaldi, Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma 'La Sapienza': A sinistra, in piedi: Bruno Touschek, Giorgio Romano, Silvia Tamburini, Carlo Bernardini. Da sinistra: in seconda fila, Giorgio Fiocco, Gianfranco Bassani, Daniele Sette; in terza fila, Giorgio e Lina Careri, Salvatore Cunsolo; in quarta fila, Francesco Calogero; in quinta fila, Franco Dupré. In alto, nell'ultima fila: Umberto Grassano.

fecero mirabilie (a Frascati). Una ricostruzione minuziosa di ciò che si fece tra il 1960 e il 1964 la si trova nella Tesi di Haïssinski [14]; con il riconoscimento dei meriti individuali di ciascuno. Vale la pena di ricordare che in un convegno a Dubna (USSR) nell'agosto 1963 stringemmo un buon rapporto con il gruppo di A. M. Budker e fummo invitati a Novosibirsk, dove si convinsero dell'importanza di AdA e partirono con VEPP2; io tenni una relazione, concordata con il gruppo, che fu generalmente apprezzata [B8]

12.5 Il post-AdA

Già nel 1961, però, era partito Adone, per raggiungere i 3 GeV nel c.m. Molta gente frequentava già, come ho detto, i Laboratori di Frascati, nonostante la competizione con il CERN, dove i "protonisti" (specie i pisani e i padovani) sostenevano la superiorità dei protoni sugli elettroni. A Frascati, si lavorava con il sincrotrone, con AdA anche quando l'anello era passato

12. Carlo Bernardini

a Orsay (ma tutto si progettava e costruiva in Italia) e con Adone, dove Fernando Amman reggeva un'impresa molto più professionale di AdA: un anello a funzioni separate, con un LINAC iniettore dotato di convertitore! Avevamo molti ospiti: Boyce McDaniel, Albert Silverman, Robert Wilson, Raphael Littauer, John De Wire, Karl Berkemann, Peter Stein, Bernard Feld, Bernie Gittelman, Bill Blainpied, Guy von Dardel, oltre agli abituarini e ricorrenti Matthew Sands e Robert Walker...



Figura 12.9: Carlo Bernardini nei primi anni '70.

Forse, per quanto riguarda il sincrotrone, uno dei pezzi più interessanti era il fascio di gamma da targhetta monocristallina, quasi monocromatici e linearmente polarizzati, messo in piedi con ostinata determinazione da Giordano Diambrini Palazzi con il suo gruppo;⁷ bisogna ricordare che un analogo tentativo, a Stanford, non era riuscito e tutti guardavamo con ammirazione Giordano e i suoi perché la caparbia di Diambrini, altre volte indigesta, qui aveva dato frutti; gran parte del merito andava però a Guido Di Stefano, un tecnico esperto di meccanica e micromovimenti, che rea-

⁷Guido Barbiellini, Gian Franco Bologna, Gian Paolo Murtas.

lizzò il complicato aggeggio che permetteva di utilizzare il monocristallo. Io stesso ne fui attirato e misi in piedi, più tardi, un piccolo esperimento di fotodisintegrazione del deuterio con gamma polarizzati alla soglia di produzione di pioni [B9]. Ne venne una misura che non era mai stata fatta prima ma che non insegnava granché. Poi, ci accorgemmo di qualcosa che non sembrava plausibile in un lavoro di F. M. Pipkin sullo scattering anelastico di elettroni su nuclei : probabilmente, fu uno degli esperimenti più fulminei realizzati all'epoca [B10], grazie agli ottimi rapporti con i francesi di Orsay.

Ma quello che più vorrei ricordare è ciò che feci per Adone. Dico “per” e non “con” perché posso affermare di avere contribuito molto all'ideazione dell'esperimento ma poi, avendo avuto (1969) la cattedra a Napoli, decisi di non firmare il lavoro che i miei compagni di gruppo pubblicarono [15].

Come seguace di Touschek e attento imitatore del suo modo di ragionare, mi aspettavo che nel range delle energie di Adone comparissero due possibili tipi di sorprese: che ci fosse una sezione d'urto di annichilazione in adroni non irrilevante e dotata di una struttura in energia; che continuasse la serie dei mesoni vettoriali, dopo quelli già apparsi in esperimenti convenzionali con macchine a protoni, ρ^0 , ω^0 , ϕ^0 . Ma questa volta, la caratteristica dell'energia degli anelli di avere un'altissima definizione, avrebbe consentito una misura senza precedenti della larghezza di questi mesoni. Con Claudio Pellegrini avevamo scritto un dottissimo lavoro sui problemi della radiazione [B11] e conoscevamo bene l'eccezionalità della macchina. Perciò, mi adoperai perché fosse costruito un dispositivo di grande angolo solido che contasse alle varie energie quanta roba veniva prodotta, rimandandone l'identificazione a successive modifiche *ad hoc* dell'apparato: non valeva la pena di mettere a punto dispositivi complicati prima di verificare che ci fossero gli eventi. Inoltre, per identificare le risonanze strette [B12], sarebbe stato bene “spazzolare” l'energia della macchina lentamente modulando il campo magnetico. Lì dove si contava di più, ci si poteva sempre fermare e identificare ciò che veniva prodotto copiosamente. Tutta questa filosofia dava fastidio a qualcuno (Zichichi in particolare, che sembrava non avere interesse alla fisica peculiare di Adone, cioè al problema della struttura adronica del vuoto, e si ostinava dietro a fantomatici “quark leptonic” della cui esistenza nessuno aveva mai dato la benché minima motivazione; del resto, di lì a poco la singolare intestazione dell'esperimento svanì nel nulla). All'idea di modulare il campo di Adone, Amman non ne volle nemmeno sentir parlare. Ma il vero avversario fu la sfortuna: la risonanza nuova c'e-

12. Carlo Bernardini

ra! Ma stava a 105 MeV, un'inezia, sopra l'energia massima di Adone nel c.m. (3 GeV). Oggi si chiama J/Ψ , perché 8 anni dopo la mia proposta, nel 1974, fu trovata da Stanford (Richter) e MIT (Ting): due padri e due nomi. Ma il merito di questa scoperta è tutto di Touschek e delle sue macchine. Se l'energia è quella di una risonanza stretta, bisogna essere ciechi per non vederla. Giunto il tam tam americano, tutti i gruppi su Adone videro la risonanza [16] in una notte, convincendo Amman a forzare il campo della macchina quel poco che bastava. Fu una grande soddisfazione avvelenata dalla delusione. Con Bruno, commentammo amaramente; lui stava già un po' male in salute, mi dispiaceva che fosse turbato. Ma, certo, anche questo contribuì a far sì che tutto il mondo si riempisse di anelli e^+e^- .



Figura 12.10: Carlo Bernardini nell'Aula Amaldi del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma 'La Sapienza'. Alla sua destra Giustina Baroni e Augusta Manfredini.

In quegli anni, commisi un errore grave: andando su e giù da Napoli (1969-1971) mi sentivo un po' fuori gioco. C'erano personaggi storici come Antonio Carrelli, Ettore Pancini, Ruggero Querzoli, oltre a un gruppo di biologi

del Laboratorio di Genetica e Biologia (LIGB) di Adriano Buzzati Traverso. Pur avendo a Napoli ottimi amici e colleghi, trovavo l'ambiente sia monotono che litigioso; volevo ricollegarmi con l'INFN e Frascati, e così accettai la proposta di occuparmi di un progetto velleitario: Superadone, un anello e^+e^- da 30+30 GeV. Mi aiutò molto Luciano Paoluzi, un fisico tanto bravo quanto tranquillo. Decisi di fare un primo abbozzo di macchina usando leggi di scala: ma appena ne parlai con Fernando Amman mi disse che ero pazzo. Tanti anni dopo, posso ammettere che avesse ragione e che le leggi di scala non fossero affidabili. Ma non volevo fare così un progetto, solo una stima di massima dei parametri e del costo. Fatto sta che Superadone mi consumò un paio d'anni per arrivare alla conclusione che non poteva essere un anello italiano: troppi soldi e troppa organizzazione. Effettivamente, guardando a posteriori a ciò che ha fatto con estrema perizia Emilio Picasso al CERN con LEP, dico che potevo capirlo subito che si trattava di un'avventura improponibile. Per Bruno, naturalmente, questi gigantismi erano ripugnanti e lo diceva con estrema sincerità. Mi consolai partecipando come speaker di Frascati, a nome di tutti i gruppi di Adone, alla conferenza di Cornell del 1971 [B13], dirigendo la sezione romana dell'INFN, tenendo un breve corso all'ICTP di Trieste, sulla fisica con Adone, nel 1972, e poi facendo il preside della Facoltà di Scienze MFN, tra il 1974 e il 1976, infine facendo una rassegna per i francesi a Digione [B14].

12.6 Politica e scienza

Nel 1976 accettai una candidatura al Senato e mi misi a fare politica per la ricerca e l'università. Non saprò mai giudicare se ho buttato dieci anni oppure no [B29]. Ho conosciuto un grande numero di persone notevoli: Giovanni Berlinguer, Giorgio Tecce, Antonio Ruberti, Giovanni Spadolini, Edoardo Perna; ho collaborato per anni a *Rinascita* dove avevo una rubrica fissa; poi a *Riforma della Scuola* con Lucio Lombardo Radice, Mario Alighiero Manacorda, Tullio De Mauro e Alberto Oliverio; ho anche presieduto gli Editori Riuniti, portando in Italia i libri di Landau e Lifshitz, di Smirnov, di Novikov e tanti altri. Avevo però incominciato a scrivere libri anch'io, manuali per l'insegnamento della fisica [B30], scoprendo che uno dei difetti dei miei colleghi, esclusi Persico e Touschek, era che consideravano la didattica una attività minore, di secondo rango. Avevo già

sofferto per le mancate pubblicazioni degli anni precedenti, dovute al fatto che Querzoli considerava lo scrivere una perdita di tempo rispetto al “costruire apparati”; stranamente, è la stessa “sobrietà” fasulla che faceva sì che non avessimo una foto di gruppo di AdA. Fu così che non pubblicai mai la teoria delle dimensioni verticali dei fasci negli anelli o quella dell’iniezione con RF pulsata in AdA, piccole cose che però per noi contavano moltissimo; si trovano sulla tesi di Haïssinski [14]. In realtà, di queste “piccole invenzioni” ne facevamo veramente tante, senza nemmeno pensare di pubblicarle, perfino come rapporti interni di Frascati. Fortunatamente (dal punto di vista della memoria, naturalmente) avevo ereditato da Persico l’uso di tenere un diario scientifico; questo uso fu favorito dal fatto che Italo Quercia si mise d’accordo con una ditta cartografica che fornì ai Laboratori dei libroni rilegati di carta quadrettata con fogli millimetrati intercalati ogni decina di pagine (“quaderni tipo Quercia”, fu il nome che ebbero anche nel registro del magazzino). Ne feci incetta e, da quando arrivai a Frascati (1957), quasi fino a quando passai a Napoli (1969), registrai quotidianamente ciò che facevamo o facevo.

Per esempio, c’è l’idea, poi realizzata con Gianfranco Corazza, di un “vucometro a punta” per superare i limiti degli Alpert che non scendevano sotto $5 \cdot 10^{-10}$ torr. Si trattava di un microscopio di Müller inverso, con una punta a tensione (5.000 Volt rispetto a un anodo). Il raggio di curvatura della punta era di circa 1 micron, sicché il campo alla superficie era di circa $5 \cdot 10^{+9}$ Volt/m, sufficiente a ionizzare un atomo del gas che le andasse vicino; la polarizzabilità atomica, addirittura, aumentava la densità locale attirando gli atomi intorno alla punta per poi ionizzarli. L’elettrone veniva sparato verso l’anodo producendo una corrente proporzionale alla densità del gas. Provammo a tarare il dispositivo, che sembrava funzionare; ma la pressione elettrostatica sulla punta la rompeva, così che, dopo appena qualche minuto, un secco sparo ci avvertiva che si era rotta. Consumammo due scatole residue di puntine da grammofono a manovella, ormai introvabili. Poi abbandonammo l’oggetto perché non riuscimmo a fare punte abbastanza robuste ma anche esattamente riproducibili: eppure, era una buona strada per vuoti ultraspinti come quelli di AdA e Adone (il merito era tutto della straordinaria esperienza di Gianfranco Corazza).

Ero affascinato dai calcoli semiclassici dei processi radiativi, come quelli di P. Kessler [17]; perciò, mi costruii un “meccano radiativo” assai ingegnoso, in cui si calcolava lo spettro di un campo elettromagnetico prodotto da un



Figura 12.11: Carlo Bernardini negli anni '80.

elettrone che cambiava direzione (di un angolo pari a quello di scattering) istantaneamente in un punto; anche il meccano è sepolto in un quadernone. Tentai di produrre così lo spettro della radiazione di sincrotrone ma poi abbandonai la cosa. Poi inventai una approssimazione per particelle in una buca nel limite di massa infinita, per fare concorrenza all'approssimazione di Born-Oppenheimer: è lì, in uno dei quadernoni.

Il mio grande cruccio era che le agitazioni contestatarie avessero ritardato di quasi due anni l'attività sperimentale con Adone, della cui organizzazione ero stato responsabile: Stanford fu in qualche modo all'avanguardia, prima ancora di realizzare SPEAR e di trovare la J/Ψ : osservarono lo *scaling* [18] in modo assai ingegnoso, usando le cosiddette reazioni inclusive adatte alla loro macchina (il LINAC Two-miles) che non consentiva le coincidenze per discriminare stati finali particolari. La versione dello *scaling* per Adone fu il celebre rapporto R tra la sezione d'urto totale adronica e quella in coppie di mesoni μ , determinata dal numero totale di quark e relativi "colori":

Nicola Cabibbo, Giorgio Parisi e Massimo Testa [19] ne fecero un calcolo semplice e diretto identificando i partoni di Feynman con i quark.

Tornando agli anni '50-'60, Quercia ebbe l'idea di un analizzatore d'ampiezza monocanale "passivo", cioè senza valvole, che operava sfruttando l'attenuazione dei segnali in linee di ritardo. Ci lavorai sopra; poi, con Quercia, Alessandro Alberigi e Carlo Infante ne costruimmo uno, funzionante, che fu pubblicato e si trova anche citato in un'edizione del trattato di Millman e Taub, a quei tempi una vera bibbia dell'elettronica a valvole [B16]. Tra l'altro, feci l'elettronico a tempo perso con Owen Chamberlain, ospite dei laboratori, uno strano individuo: non si accorse che non ero un elettronico professionista: mi sono sempre chiesto come abbia fatto a prendere il Nobel con Emilio Segrè; quando conobbi Clyde Wiegand, anche lui a Frascati, mi sembrò un genio, al confronto, ma non aveva diviso il premio. Tra la direzione della Sezione di Roma dell'INFN, la presidenza della Facoltà di Scienze di Roma e l'attività parlamentare al Senato, mi dispersi in una miriade di problemi e di attività. Studiavo in ogni momento libero; ho accumulato una quantità enorme di fotocopie di roba letta. Scoprii la letteratura sulle dimensioni extra compattificate e feci un modellino di tipo Kaluza-Klein, assai ingenuo, sulla quantizzazione della carica elettrica, che pubblicai [B16]: mi sembra ancora ragionevole, ma nessuno se ne è accorto. Mi imbattei nel caos deterministico e nelle equazioni funzionali: tentai di usare, per una versione continua del mapping iterativo, l'equazione di traslazione o di Schroeder, pubblicando anche un lavoro [B17] che mi sembrava importante per le analogie con il gruppo di rinormalizzazione: nessuno se ne accorse.

12.7 Didattica, storia e disarmo

In questo periodo, le cose migliori che ho fatto riguardano la didattica: la didattica universitaria mi ha sempre attratto moltissimo, forse perché sia Persico che Touschek erano docenti di inestimabile valore e mi spingevano all'imitazione. Scrivevo le mie lezioni, a mano, e ne davvo fotocopie agli studenti. A Napoli misi in piedi, accanto al corso ufficiale di Fisica generale per Matematici (usavo le lezioni di Feynman, uno sforzo terribile, per matematici), un corso di Struttura della materia per fisici, scrivendone il testo durante l'anno accademico; tornai a Roma e mi dettero le Istituzioni di Fisica nucleare per i primi anni, per poi richiamarmi su Metodi matema-

tici della Fisica (dove sono rimasto sino all'ultimo, con la sola divagazione di una Fisica superiore – il corso di Persico! – durante l'ultimo anno fuori ruolo). Per la Fisica Nucleare pubblicai un libro con Carlo Guaraldo [B18] per i Metodi ne pubblicai uno con Orlando Ragnisco e Paolo Maria Santini [B19].

Avevo moltissimi studenti e so che i miei corsi piacevano: erano molto affollati, ben più di quelli paralleli; il che mi riempiva di felicità. Avevo scritto anche altri libri: Fisica e Strumenti Matematici [B20], La Relatività Speciale [B21]. Nel corso del tempo ho scritto anche testi divulgativi o scolastici e saggi di considerazioni varie [B22].

Feci una teoria del decadimento e scattering che mi sembrava molto originale dal punto di vista didattico, ma i colleghi non se ne accorsero. Tuttavia mi servì per avere l'idea che la mancata osservazione del decadimento del protone, allora in voga, fosse un caso di “effetto Zenone”, plateau non esponenziale al tempo zero. Convinsi Luciano Maiani e Massimo Testa che meritava fare un calcolo adeguato e così pubblicammo un articolo insieme che però smentiva la possibilità [B23]. Occupai un bel po' di tempo a rimuginare sui problemi delle dimensioni fisiche, perché pensavo che fossero uno strumento indispensabile alla comprensione della fisica ma tenuto un po' in sordina [B24].

Provai a impegnarmi nel cosiddetto “indirizzo didattico” [B30] che, negli anni '80, era nelle mani di Giulio Cortini e di Matilde Vicentini; con Matilde, organizzammo anche un Convegno internazionale, “Thinking Physics for Teaching” [B25] durante il quale conobbi Alan Cromer, di cui mi aveva entusiasmato il libro [20]. Però, ben presto mi trovai a disagio sia con la Vicentini che con Cortini: troppo indulgente con gli psicopedagogisti la prima, troppo indisponibile al dialogo innovativo il secondo; devo dire francamente che condividevo con entrambi l'ostilità per le concezioni didattiche di Paolo Guidoni, ossessivamente invadenti. Misi anche in piedi un gruppo di insegnanti di scuola secondaria di Roma e Terni, detto perciò RoTer, con i quali elaborammo una intensa attività seminariale, scrivendo alcuni rapporti interni per le scuole; ma poi RoTer (una dozzina di insegnanti) si disperse, dopo circa dieci anni di incontri quindicinali. Mi occupai anche di scienza in età prescolare, sollecitato da Tullio De Mauro e Gigliola Sbordoni del Comune di Scandicci: feci molto lavoro, con Riccardo Luccio, percettologo triestino, con le scuole comunali dell'infanzia; ci furono vari convegni e varie pubblicazioni di una certa rilevanza pedagogica [B26].



Figura 12.12: Carlo Bernardini con Albert Silverman nel marzo del 1994.

Contribuii a fare nascere l'Unione Scienziati per il Disarmo (USPID) [B31], nel 1982; i miei contatti con i didattici, abitués del Castello Pasquini di Castiglioncello, mi permisero di convincere il sindaco Giuseppe Danesin di Castiglioncello-Rosignano a concederci ospitalità ogni due anni per un convegno internazionale che ha tuttora un certo nome. A quel tempo, dal 1983, dirigevo la rivista *Sapere* dell'editore Dedalo, insieme con Daniela Minerva; per i contributi al pacifismo della rivista, vinsi una Colomba d'oro della Pace attribuita dall'Archivio Disarmo di Luigi Anderlini. In quell'occasione, entrai in contatto con gli storici della Fisica del Dipartimento: Michelangelo De Maria, Gianni Battimelli, Fabio Sebastiani, Maria Grazia Ianniello, Carlo Tarsitani (c'era anche Salvo D'Agostino, ma non sembrava particolarmente amichevole). Scoprii che la storia della fisica [B27] era una collezione di monografie ruminare in tutt'Italia un po' a casaccio, che spaziavano da Galilei ai raggi cosmici senza un programma di lavoro organico. Tra l'altro, alcuni personaggi, come Erasmo Recami, avevano "incamerato" la documentazione relativa a personaggi come Ettore Majorana, sottratta a ingenui parenti dello scomparso, e ne facevano mercato con i giornalisti scientifici, morbosamente e periodicamente attratti dalla "scomparsa misteriosa".

Mi sembrò necessario intervenire, anche perché Edoardo Amaldi teneva molto a documentare l'attività italiana e faceva il possibile per farlo in prima persona. Mi arrabbiai molto scoprendo che alcuni storici americani



Figura 12.13: Carlo Bernardini con Carlo Azeglio Ciampi nel 2001, in occasione dei festeggiamenti per il Centenario della nascita di Enrico Fermi. In secondo piano sulla destra, Sabino Cassese.

avevano espunto Touschek e AdA dalla storia, ma anche Cabibbo e il *mixing*, oltre a molti altri fatti. Scrisi a Helge Kragh, di Aarhus-Princeton per chiedergli conto di queste omissioni [21] e mi rispose candidamente che aveva consultato solo “letteratura americana”. Ovviamente, tra gli americani non tutti sono così: non Gerald Holton, non Peter Galison, non John Heilbron, non Roger Stuewer e altri; ma basta leggere alcune note di Burton Richter [22] per rendersi conto della protervia con cui alcuni di essi avevano tentato di oscurare il contributo italiano.⁸ Penso che la necessità dei fisici americani di amplificare i propri meriti sia legata al problema dell’approvazione dei finanziamenti federali dei laboratori. Già con il caso Segrè–Piccioni e Segrè–Amaldi per l’antiprotone ne avevamo avuto esempi [24].

Nel 2001 tentai di mettere in piedi un INSF, Istituto Nazionale di Storia della Fisica, con un altro convegno a Castiglioncello, ma le speranze di essere finanziati svanirono con il ministero Moratti, anche se molti colleghi avrebbero aderito volentieri (magari sostituendo F con S=Scienze). Ortensio Zecchino, ministro, affidò ad Antonino Zichichi, con meraviglia di tutti,

⁸A questo proposito si vedano i contributi [B6] e [23] per una ricostruzione storica più documentata della nascita dei collider.



Figura 12.14: *40 Years of Lepton Colliders*, Novosibirsk, 15–17 maggio 2004. Sono visibili tra gli altri: Al centro in prima fila: Pief Panofsky, alla sua destra Venja Sidorov e alla sua sinistra Alexander Skrinski. Alla destra di Carlo Bernardini Andrea Ghigo, figlio di Giorgio.

il recupero dell'Istituto di via Panisperna: fu un vero “affronto” per l'Università di Roma, perché sembrava naturale che il celebre edificio tornasse sotto la cura della Sapienza. Nel frattempo, avevo laureato Luisa Bonolis, la cui capacità di lavoro storico superava ogni più rosea speranza: si occupò subito e nei modi più appropriati, di Majorana, di Touschek, di Pontecorvo, di Bruno Rossi, pubblicando importanti testi storico-scientifici sulla fisica moderna. Daniel Bovet mi aveva voluto nella Società Italiana per il Progresso delle Scienze, SIPS, di cui sarei stato di lì a poco Presidente anch'io e, in quanto tale, membro del CdA della Domus Galilaeana, presieduta da Vincenzo Cappelletti.

Tutte queste occasioni mi hanno dato modo di promuovere la storia della fisica tra alcuni fisici militanti, scoprendo che i fisici che fanno ricerca hanno il vezzo/colpa di vivere nel presente e distruggere la documentazione originale. Nel 2001, mi sono state affidate le celebrazioni del centenario di Fermi [B28]: la cosa mi ha molto gratificato e, tutto sommato, è andata abbastanza bene, anche grazie all'indimenticabile Rocco Capasso, tesoriere della SIPS recentemente scomparso. La storia dà molte soddisfazioni, se fatta con in mente lo sviluppo delle idee.



Figura 12.15: *40 Years of Lepton Colliders*, Novosibirsk, 15–17 maggio 2004. Da sinistra: Carlo Bernardini, Venja Sidorov, Alexander Skrinski, Pief Panofsky.

Nel 2004, i fisici di Novosibirsk mi hanno invitato a ricordare AdA. Sono tornato volentieri in Siberia. In un istituto intitolato a Andrei M. Budker ho incontrato, oltre ai padroni di casa, Venja Sidorov, Alexander Skrinski e Pief Panofsky, anche lui appena scomparso. Ma le nuove prospettive (gamma–gamma colliders?) non mi hanno convinto affatto.

L'associazione per l'insegnamento della fisica, AIF, per opera di Carla Romagnino e della direttrice della rivista *La fisica nella Scuola*, Rita Serafini, aveva messo in piedi una scuola invernale di storia, di grande livello (ci contribuiscono Gianni Battimelli, Silvio Bergia, Luisa Bonolis, Luigi Brasi- ni, Giuseppe Giuliani, Giulio Maltese, Giuseppe Mezzorani, Arturo Russo): con grande entusiasmo, ho aderito anch'io. Mi sono convinto del fatto che un settore culturale senza storia è una anomalia grave del pensiero e di tutte le sue tradizioni; nel caso della fisica e, forse, di tutte le scienze dure, è anche una colpevole negligenza perché, addirittura, ignora lo sforzo che ogni individuo deve fare, nell'arco di una vita, per trasformare la raziona-

lità istintiva prescientifica in razionalità scientifica dotata di un linguaggio estremamente efficiente e produttivo creato da un cervello collettivo nell'arco di secoli. Questi ultimi anni della mia vita sono dedicati a questo, e non me ne pento [B32].

Bibliografia

- [B1] C. Bernardini, Sulla stabilità delle configurazioni di equilibrio di un filo, percorso da corrente, in campo magnetico, *Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti* (Classe di Scienze), serie VII, Vol. XIX, 1955, 297.
- [B2] C. Bernardini, Scattering Losses in Weak Focusing Electron-Synchrotrons, in *Proc. CERN Symposium on High Energy Accelerators*, 1956; citato da R. Wilson, *Handbuch der Physik*, Vol. XLIV, 1959.
- [B3] C. Bernardini, Space Charge Effects in Electron-Synchrotrons, *Nuovo Cimento* 10, 1958, 804.
- [B4] C. Bernardini, R. Querzoli, G. Salvini, A. Silverman, G. Stoppini, Search for New Neutral Mesons (the ρ^0 -Mesons), *Nuovo Cimento* 14, 1959, 268
- [B5] C. Bernardini, F. Felicetti, L. Meneghetti, G. Penso, R. Querzoli, V. Silvestrini, G. Vignola, S. Vitale, Wide-Angle Electron-Proton Bemsstrahlung, *Nuovo Cimento* 1, 1969, 15.
- [B6] C. Bernardini, AdA: The First Electron-Positron Collider, *Physics in Perspective* 6, 2004, 156.
- [B7] C. Bernardini, High Energy Experiments in QED, in *Lectures in Theoretical Physics*, part II, K.T. Mahantappa, W. E. Brittin, A. O. Barut (a cura di), University of Colorado, Gordon and Breach, 1968, 465.
- [B8] C. Bernardini, G. F. Corazza, G. Di Giugno, G. Ghigo, J. Haïssinski, P. Marin, R. Querzoli, B. Touschek, Lifetime and beam size in electron storage rings, *Atomizdat*, Moskva, 1964, 332.
- [B9] G. Barbiellini, C. Bernardini, F. Felicetti, G. P. Murtas, Photodisintegration of the Deuteron by Polarized Gamma Rays, *Physical Review*, 154, 1967, 988.
- [B10] C. Bernardini, B. Grossètète, B. Jean-Marie, P. Lehmann, V. Silvestrini, R. Tchaptoutian, Inelastic contributions in QED tests involving nuclear targets, *Nota interna LNF* 66/33, n. 327, 1966 Frascati.
- [B11] C. Bernardini, C. Pellegrini, Linear Theory of Motion in Electron Storage Rings, *Annals of Physics* 46, 1968, 174.
- [B12] B. Bartoli, C. Bernardini, F. Felicetti, A. Goggi, D. Scannicchio, V. Silvestrini, F. Vanoli, S. Vitale, Reactions dans Adone produisant un seul boson, in R. Beck, E. Cremieu-Alcan (a cura di), *Symposium International Sur les Anneaux de Collision a Electrons et Positrons*, Saclay, 1966, VII 1.
- [B13] C. Bernardini, Results on e^+e^- reactions at Adone in N. B. Mistry (a cura di), *Proceedings of 1971 International Symposium on electron and photon interac-*

- tions at high energies, Cornell University, Ithaca; G. Salvini, A. Silverman, Physics with matter-antimatter colliders, *Physics Report* 171 (5–6) 1988, 231.
- [B14] C. Bernardini, Colliding Beams in the Future, *Journal de Physique*, Colloque C2, Suppl. 37, 1976, C2-67.
- [B15] A. Alberigi, C. Bernardini, I. F. Quercia, Proposal for an analog-to-digital electronic converter suited for nuclear pulse height analysis, *Nuclear Instruments* 3, 1958, 201; A. Alberigi, C. Bernardini, C. Infante, I. F. Quercia, A logarithmic, constant percent error, pulse height Analyzer, *Nuclear Instruments and Methods* 5, 1959, 120.
- [B16] C. Bernardini, Charge Space. I. One particle, *Nuovo Cimento* 67 A, 1982, 298.
- [B17] C. Bernardini, Functional equations, Iterated mappings and Clock problems, *Nuovo Cimento* 106B, 1991, 1099.
- [B18] C. Bernardini, C. Guaraldo, *Fisica del Nucleo*, Editori Riuniti, 1982.
- [B19] C. Bernardini, O. Ragnisco, P. M. Santini, *Metodi Matematici della Fisica*, La Nuova Italia Scientifica, 1993.
- [B20] C. Bernardini, *Fisica e Strumenti Matematici*, Editori Riuniti, 1979.
- [B21] C. Bernardini, *Relatività Speciale*, La Nuova Italia Scientifica, 1991.
- [B22] C. Bernardini e S. Tamburini, *Fisica degli atomi e dei nuclei*, Zanichelli, 1965; C. Bernardini e S. Tamburini, *Lezioni di Fisica* (2 vol.), Editori Riuniti, 1981; C. Bernardini, *Che cos'è una legge fisica*, Editori Riuniti, 1983; C. Bernardini e T. De Mauro, *Contare e raccontare*, Laterza, 2003; C. Bernardini e S. Tamburini, *Le idee geniali*, Dedalo, 2005; C. Bernardini, *Fisica Vissuta*, Codice, 2006; C. Bernardini, *Prima Lezione di Fisica*, Laterza, 2007.
- [B23] C. Bernardini, L. Maiani, M. Testa, Short time behaviour of unstable systems in field theory and proton decay, *Phys. Rev. Letters* 71, 1993, 2687.
- [B24] C. Bernardini, Grandezze fisiche, dimensioni e similitudine, in G. Giuliani (a cura di), *Le grandezze fisiche e la loro misura*, La Goliardica Pavese, 1998.
- [B25] C. Bernardini, C. Tarsitani, M. Vicentini, *Thinking Physics for Teaching*, Plenum Press, 1995.
- [B26] AA.VV., *Il bambino e la scienza*, La Nuova Italia Scientifica, 1986; AA.VV., *Il bambino ragionevole*, Manzuoli, 1987; C. Bernardini (a cura di), *Il tempo, le cose e la natura*, Ed. Valore Scuola, 1994.
- [B27] C. Bernardini, *La fisica nella cultura italiana del '900*, Laterza, 1999.
- [B28] AA.VV., *Conoscere Fermi*, a cura di C. Bernardini e L. Bonolis, Editrice Compositori, Bologna, 2001. Traduzione inglese *Enrico Fermi: his work and legacy*, SIF e Springer, 2004.
- [B29] C. Bernardini, *L'offerta di Mefistofele*, Dedalo, 1980; C. Bernardini e D. Minerva, *L'ingegno e il potere*, Sansoni, 1992; C. Bernardini, Collocazione e prospettive della fisica contemporanea, *Quaderni di Critica Marxista* 2, 1980, 451; C. Bernardini, Situazione, problemi e prospettive della fusione nucleare, *Economia delle Fonti di Energia* 16, IEFÉ (Bocconi) 1982, 65; C. Bernardini, Prospettive e

12. Carlo Bernardini

problemi della fusione nucleare, *Energia e materie prime* 27 (V), 1982, La Nuova Italia, 25; C. Bernardini, Scienza e società: il controllo sociale delle tecnologie e l'esplosione demografica dei bisogni, Atti LVIII riunione SIPS, Parma 1985, 263; C. Bernardini, Introduzione a *La via di Armageddon*, a cura di F. Battistelli, C. Bernardini, G. Devoto, Editrice l'Unità, 1985; C. Bernardini, La ricerca scientifica, in *Profili dell'Italia Repubblicana*, a cura di O. Cecchi e E. Ghidetti, Editori Riuniti, Roma, 1985, 59; C. Bernardini, Una cultura per la sicurezza alimentare, in *Politica internazionale* XIV (8-9) 1986, 73; C. Bernardini, A culture for food security, in *Politica Internazionale*, English Edition, VI (1) 1987, 99; C. Bernardini, Verso una diversa cultura della sicurezza, *Confronti* VII (1), 1987, 45; C. Bernardini, Le incognite del nucleare e i bisogni energetici del terzo mondo, *Politica Internazionale* XV (6-7) 1987, 15; C. Bernardini, L'etica della ricerca, *Nuova Civiltà delle Macchine* V (3-4) (19-20), 1987, ERI, 67; C. Bernardini, Radiografia di una commissione ministeriale, *Energia* IX (3) 1988, 2; C. Bernardini, La scienza, dibattito con E. Casari e L. Geymonat, in *Percorsi della Ragione*, Ediz. A.G.M., Firenze, 1988; C. Bernardini, L'etica della scienza e l'arroganza tecnocratica, *Economia delle fonti di energia* XXXIII (40), IEFE (Bocconi) 1990, 33; C. Bernardini, Research in Europe, *Research in Europe*, a cura di W. Kaltenbacher, Vivarium, Napoli 1998; C. Bernardini, Un'etica per la scienza?, in *Sfide morali di fine secolo*, *Quaderni di Bioetica*, a cura di F. Manti, Macro, Cesena, 1999.

[B30] C. Bernardini, È possibile l'insegnamento elementare della fisica nucleare?, *La Fisica nella Scuola* VII (1), 1974, 18; C. Bernardini, Le costanti fondamentali della fisica, *La Fisica nella Scuola* VIII (4), 1975, 8; C. Bernardini, Le argomentazioni non rigorose in fisica, *Scientia* LXX (111) 1976, 637; C. Bernardini, Un possibile ruolo delle costanti universali, *Scientia* LXXV (116), 1981, 59; C. Bernardini, Prima relazione introduttiva, in *Insegnamenti scientifici e ricerca didattica*, a cura del Centro Studi Pedagogici E. e A. M. Codignola, La Nuova Italia, Firenze, 1982, 159; C. Bernardini, Scienza e tecnica in un disegno formativo unitario, in *Una scuola per l'adolescenza* a cura di B. Vertecchi, La Nuova Italia, Firenze, 1983, 119; C. Bernardini, Avviare al pensiero scientifico, in *Il bambino della ragione*, a cura di F. Frabboni, R. Maragliano, B. Vertecchi, La nuova Italia, Firenze, 1984; C. Bernardini, Le trame concettuali della fisica, in *Le trame concettuali delle discipline scientifiche*, a cura di G. Cortini, La Nuova Italia Scientifica, Firenze, 1985, 31; C. Bernardini, Cultura della ricerca e cultura della didattica, in *Per un progetto di scuola*, a cura di F. Frabboni, R. Simone e B. Vertecchi, La nuova Italia, Firenze, 1985, 150; C. Bernardini, Educazione e risorse, in *Educazione allo sviluppo*, a cura di E. Detti, La Nuova Italia, Firenze, 1988, 55; C. Bernardini, Linguaggi operativi: istruzioni per l'uso, in *MusicaScuola*, suppl. n. 8, agosto 1988, N. Milano Ed., 1988; C. Bernardini, Linguaggio e concetti, *Epsilon* 2 (8), Paravia, 1990, 3; C. Bernardini, Scenari del futuro, in *Una scuola per tutta la vita*, a cura di B. Vertecchi, La Nuova Italia, Firenze, 1991; C. Bernardini, La matematica della realtà, *Epsilon* VI, 2 (14) 1993, 3; C. Bernardini, Principi semantici nel linguaggio

della fisica, in *Civiltà delle macchine* XI (3-4) (43-44), Nuova ERI, 1993, 59; C. Bernardini, La scoperta delle regole, in *L'insegnante ragionevole*, a cura dell'assessorato P. I. di Scandicci (Fi), Giunti Lisciani, Firenze, 1994; C. Bernardini, Il rifiuto della matematica, in *Lezioni di Scienza*, a cura di ANISN Pisa, 1994; C. Bernardini, Si può fare a meno delle lettere?, *La Formazione tra cultura scientifica e cultura umanistica, Ricerca Scientifica ed educazione permanente* Suppl. 102, Milano, 1995, 21; C. Bernardini, Il linguaggio dei modelli, in *Scienza e filosofia alle soglie del XXI secolo*, Atti, Le Scienze, Milano, 1996, 5.

[B31] C. Bernardini, Prefazione a *La scienza e il dominio dell'occidente* di K. Mendelssohn, Editori Riuniti, Roma 1981; C. Bernardini, Prefazione a *Spazio e tempo*, di Guido Castelnuovo, ristampa, Zanichelli, Bologna, 1981; C. Bernardini, *Saggio introduttivo* a *Gli atomi*, J. Perrin, Editori Riuniti, 1981; C. Bernardini (a cura di), La fisica, *Enciclopedia Ulisse*, Editori Riuniti, 1982; C. Bernardini, Prefazione a *Potere e ragione politica*, E. Marigliano, C. Inf. Cooperativo, Pordenone, 1984; C. Bernardini, Introduzione a *Castello Crotchet*, di T. Love Peacock, Theoria, Roma-Napoli, 1984; C. Bernardini, Introduzione a *La via di Armageddon*, a cura di F. Battistelli, C. Bernardini, G. Devoto, Editrice l'Unità, 1985; C. Bernardini, Werner Heisenberg: nuova fisica e continuità culturale, Saggio introduttivo a *Natura e fisica moderna*, W. Heisenberg, Garzanti, 1985; C. Bernardini, Presentazione al volume *La coscienza si chiama Hiroshima*, di L. Szilard, Editori Riuniti, Roma 1985; C. Bernardini, Introduzione a *L'educazione della mente*, L. Lombardo Radice, Editori Riuniti, 1986; C. Bernardini, Prefazione a *I fluidi imponderabili*, F. Sebastiani, Dedalo, Bari, 1990; C. Bernardini, Prefazione al volume *I rifiuti radioattivi in tribunale*, Piero Risoluti, Vecchiarelli, Roma, 2002.

[B32] C. Bernardini, Scienza e fantascienza in *La fantascienza e la critica*, a cura di Luigi Russo, Feltrinelli, Milano, 1980, 125; C. Bernardini, Collocazione e prospettive della fisica contemporanea, *Quaderni di Critica Marxista* 2, 1980, 451; C. Bernardini (a cura di), *Gravitazione*, Le Scienze, Quaderno n. 10, 1983; C. Bernardini, Il piacere della scienza, in AA.VV., *Il destino del libro*, Editori Riuniti, 1984, 63; C. Bernardini, Scienza e società: il controllo sociale delle tecnologie e l'esplosione demografica dei bisogni, LVIII riunione SIPS, Atti, Parma 1985, 263; C. Bernardini, La ricerca scientifica, in *Profili dell'Italia Repubblicana*, a cura di O. Cecchi e E. Ghidetti, Editori Riuniti, Roma, 1985, 59; C. Bernardini, Il decreto (ovvero: le meraviglie del...), in *Oltre la sindrome*, ediz. IPCREN 1985; C. Bernardini, Nascita della gravitazione, in *Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, a cura del C.I.D.I. di Firenze, Marietti-Manzuoli Ed., 1986, 91; C. Bernardini, Il diverso nelle lettere: lo scritto scientifico, in *Fare storia della letteratura*, a cura di O. Cecchi e E. Ghidetti, Editori Riuniti, Roma, 1986; C. Bernardini, Fisica e poesia: affinità elettive?, *La Scuola SE* 25, 1987, 25; C. Bernardini, Fonti di energia e società industriale: un problema aperto, in *La storia*, a cura di M. Firpo e N. Tranfaglia, vol VI, 1, UTET, 1988, 243; C. Bernardini, Letteratura, scienza e filosofia della scienza, in *Atti Convegno Internazionale*

12. Carlo Bernardini

Italo Calvino, a cura di G. Falaschi, Garzanti, Milano, 1988; C. Bernardini, I nuovi guru e La parola a Totò, in *Api o architetti*, a cura della redazione cultura e scienza de l'Unità, suppl. al n. 114 de l'Unità, 1990; C. Bernardini, Le riviste scientifiche in Italia, in *La diffusione della cultura scientifica*, Atti, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 1994; C. Bernardini e P. Bisogno, La politica della scienza, in *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, di L. Geymonat, vol. 9, Garzanti, 1996; C. Bernardini, AdA e Frascati, in *Quark 2000*, Le Scienze Editore, 1997, 58; C. Bernardini, Il non fisico della fisica, in AA.VV., *Metafisica*, Laterza, Roma-Bari 1997, 25; C. Bernardini e S. Tamburini, La prosa scientifica, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1998; C. Bernardini, Bruno Touschek, in *Il Nuovo Saggiatore* 15, (3-4) 1999, 29; C. Bernardini, L'universo in una formula: scienza o poesia?, in *Il testo letterario e il sapere scientifico*, a cura di C. Imbroscio, Clueb, Bologna 2003, 71; C. Bernardini, Divulgare e tradurre la Scienza, Premio Città di Monselice, Il Poligrafo, 2004, 182; C. Bernardini, I nuclei, in *La Scienza*, La Biblioteca di Repubblica, vol.12 (2005) 231; C. Bernardini, La funzione d'onda, in *La Scienza*, La Biblioteca di Repubblica, vol. 12 (2005) 301; C. Bernardini, Elogio della diversità, in *Critica e Progetto*, a cura di L. Spera, Carocci, 2005, 35.

Bibliografia generale

- [1] H. De Wolf Smith, *Energia atomica*, Bardi Editore, Roma, 1946.
- [2] P. Carlson, *La fisica di Carlson*, Hoepli, 1936.
- [3] G. Joos, *Lehrbuch der Theoretischen Physik*, Ak. Verlag., Leipzig, 1945 ; A. Sommerfeld, *Atomic Structure & Spectral Lines*, Methuen, London, 1923; Trattato di Fisica Generale sovvenzionato dal C.N.R.: E. Fermi, *Molecole e cristalli*, Zanichelli, Bologna, 1934; F. Rasetti, *Il nucleo atomico*, Zanichelli, Bologna, 1936; E. Persico, *Fondamenti della meccanica atomica*, Zanichelli, Bologna, 1940; R. Marshak, *Meson Physics*, McGraw-Hill, 1952, New York; G. Wentzel, *Quantum Theory of Fields*, Interscience P., 1949, New York; L. Jánossy, *Cosmic rays*, Oxford U.P., 1950; W. Pauli, *Meson Theory*, Interscience P., 1948; N. F. Mott & R. W. Gurney, *Electronic processes in ionic crystals*, Dover Pub. Inc. N. Y, 1946; N. F. & I. N. Sneddon Mott, *Wave Mechanics and its Applications*, 1949, Oxford U.P.; N. F. And Massey & H. S. W. Mott, *Theory of atomic collisions*, Clarendon Press, 1950; W. Heitler, *The Quantum Theory of Radiation*, Oxford U.P., 1936; F. Seitz, *The modern theory of solids*, 1950, McGraw-Hill.
- [4] O. D. Chwolson, *Traité de Physique*, 5 tomi, 7 vol., Hermann, Paris, 1914.
- [5] M. Conversi, La storia del muone, *Sapere*, 1988, n. 2, p. 27.
- [6] Subramanyan Chandrasekhar, *Radiative transfer*, Oxford U.P., 1950.
- [7] G. Salvini (a cura di), *L'elettrosincrotrone italiano e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, 1962.
- [8] E. D. Courant., M. S. Livingston, H. S. Snyder, J. P. Blewett, Origin of the Strong Focusing Principle, *Phys. Rev.* 91, 1953, 202.

- [9] M. Sands, Synchrotron Oscillations Induced by Radiation Fluctuations, *Phys. Rev.* 97, 1955, 470.
- [10] A. Baracca, S. Bergia, *La spirale delle alte energie*, Bompiani, 1975.
- [11] J. J. Sakurai, Vector-Meson Dominance and High-Energy Electron-Proton Inelastic Scattering, *Phys. Rev. Lett.* 22, 1969, 981.
- [12] C. Pellegrini, A. M. Sessler (a cura di), *The development of colliders*, Am. Inst. of Physics Press, 1995.
- [13] S. Drell, QED at small distances, *Annals of Physics* 4, 1958, 75.
- [14] J. Haïssinski, Thèse pour obtenir le grade de docteur es-sciences, Orsay, Série A, n. 81, 1965.
- [15] B. Bartoli, F. Felicetti, V. Silvestrini, Electromagnetic structure of the hadrons, *Rivista del Nuovo Cimento* 2 (3), 1972.
- [16] Cesare Bacci *et al.*, Preliminary Result of Frascati (ADONE) on the Nature of a New 3.1-GeV Particle Produced in e^+e^- Annihilation, *Phys. Rev. Letters* 33, 1974, 1408.
- [17] P. Kessler, Sur une méthode simplifiée de calcul pour les processus relativistes en électrodynamique quantique, *Nuovo Cimento* 17, 1960, 809.
- [18] E.D. Bloom *et al.*, High-Energy Inelastic e-p Scattering at 6 and 10, *Phys. Rev. Letters* 23, 1969, 930.
- [19] N. Cabibbo, G. Parisi, M. Testa, Hadron Production in e^+e^- Collisions, *Nuovo Cimento Letters* 4, 1970, 35.
- [20] A. Cromer, *Uncommon Sense*, Oxford U.P. 1993; ed. Italiana, *L'eresia della Scienza*, R. Cortina, 1996.
- [21] H. Kragh, *Quantum generation*, Princeton UP, 1999.
- [22] B. Richter, The Rise of Colliding Beams, in L. M. Brown *et al.*, *The rise of the Standard Model. Particle Physics in the 1960s and 1970s*, Cambridge U.P., 1997, 261.
- [23] L. Bonolis, Bruno Touschek *vs.* machine builders: AdA, the first matter-antimatter collider, *La Rivista del Nuovo Cimento*, 28 (11) 2005, 1–60.
- [24] J. Heilbron, The Detection of the Antiproton, in *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States*, a cura di M. Grilli, M. De Maria, F. Sebastiani, World Scientific, 1988, pp. 161–217; G. Battimelli, D. Falciai, Dai raggi cosmici agli acceleratori: il caso dell'antiprotone, in *Atti del XIV e XV Congresso Nazionale di Storia della Fisica* (Udine 1993 – Lecce 1994), a cura di A. Rossi, Ed. Conte, Lecce 1995, pp. 375–386.

Capitolo 13

Guido Pizzella

Guido Pizzella, nato nel 1933, è stato ricercatore dell'INFN e professore di fisica presso le Università di Lecce, Roma la Sapienza e Roma Tor Vergata. Dopo periodi iniziali nel campo della struttura della materia e delle particelle elementari ha svolto attività di ricerca essenzialmente in due distinti campi: Fisica dello Spazio e Relatività Generale. In Fisica dello Spazio ha collaborato con James A. Van Allen ed Alberto Bonetti nello studio della magnetosfera terrestre, dei raggi cosmici e del vento solare. Ha progettato e diretto il primo esperimento europeo sul vento solare, ha promosso vari altri esperimenti ed attività di fisica cosmica. Ha introdotto in Italia la tecnica dei *channeltron* (fotomoltiplicatori continui) mediante i quali è stato realizzato, in collaborazione con Ugo Amaldi, il primo esperimento ($e, 2e$) in fisica atomica. Questo esperimento ha aperto la strada ad un nuovo campo di ricerca, ora seguito in vari laboratori nel mondo. Nel campo della Relatività Generale ha dato inizio, con Edoardo Amaldi, a ricerche sulle onde gravitazionali mediante antenne risonanti. Il gruppo italiano è riuscito per primo a realizzare sensibili antenne, dando un forte impulso alle ricerche di onde gravitazionali. Fra i risultati scientifici più interessanti, ottenuti durante lo sviluppo dell'esperimento, vanno menzionati: le misure durante la SN1987A, l'osservazione di raggi cosmici mediante le stesse antenne gravitazionali ed infine l'evidenza (non ancora confermata) di segnali presumibilmente di onde gravitazionali provenienti dal disco galattico.

13.1 Introduzione

Dagli anni 1960 fino ai nostri giorni sono state sviluppate presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma ricerche di fisica spaziale e della gravitazione. In questa nota autobiografica vengono descritti la nascita e lo svolgimento di esse, dai primi inizi, passando attraverso la contestazione giovanile, fino ai nostri giorni.

Le ricerche di fisica dello spazio vengono schematicamente illustrate nelle loro linee storiche. Le ricerche sul campo gravitazionale vengono viceversa illustrate più in dettaglio con i risultati scientifici e con riferimenti bibliografici

Ho cercato di dare un'idea di come certe imprese possano nascere, qualche volta sulla base di avvenimenti apparentemente non importanti e come un giovane degli anni '50 possa aver trovato la sua strada nella ricerca scientifica di fisica.

13.2 Perché fisica?

È difficile oggi credere che un giovane liceale nel 1950 potesse non sapere che è possibile intraprendere una carriera nella ricerca scientifica. Questa appariva essere parte di un mondo irraggiungibile al quale solo grandi scienziati, Galileo, Newton, madame Curie, Einstein avevano accesso. Nel 1951 quando ho ottenuto la maturità classica a Roma, in assenza di televisione e con pochi giornali di pochissime pagine, l'informazione era molto circoscritta e gli studi venivano intrapresi solo in seguito alle aspirazioni sviluppatesi in ambito familiare. Mio padre aveva scelto per me gli studi classici (pur essendo egli ragioniere) e da parte di mia madre vi era una tradizione di medici ed avvocati. Nel 1948 mio padre mi condusse a visitare a Milano un'esposizione delle nascenti industrie italiane. Rimasi colpito dal padiglione chimico della Montecatini e dal processo con cui era estratto l'alluminio dal suo sesquiossido. Decisi che avrei fatto il chimico. Peraltro, appena presa la maturità, venni a sapere che il figlio di un amico di mio padre, Ettore Minardi, si era laureato in *fisica pura* a Milano. Seppi quindi che era possibile laurearsi in *fisica pura* e così decisi che questa sarebbe stata la mia strada, ricercatore in *fisica pura*. Fino a quel momento avevo ritenuto che studiare una materia scientifica all'Università, fatta eccezione

per Ingegneria, significasse doversi poi dedicare soltanto all'insegnamento nei licei.

Al primo anno, novembre 1951, eravamo, iscritti a fisica, circa una dozzina. Avevamo come pedagoghi Gherardo Stoppini a Raul Gatto. Nei quattro anni di corso frequentai poco le lezioni, perché mi annoiavo, ma riuscii a finire gli esami entro il quarto anno e a laurearmi con una tesi sperimentale a luglio 1956, ossia con una sessione di laurea fuori corso.

Pur avendo ottenuto una buona media agli esami (media del 27.5 trentesimi), esami sempre sostenuti nei tempi prescritti, non mi ritenevo all'altezza di vari miei compagni di corso che presentavano medie prossime al 30, perciò pensai di non essere adatto alla ricerca scientifica e quindi di dover scegliere una tesi che, nella mia mente, mi avrebbe dato le migliori possibilità di trovare un posto in una qualche industria. Fra queste mi attirava l'idea di poter lavorare all'AGIP, allora nascente. Ritenni quindi di dover prendere una tesi sperimentale in struttura della materia. Alla fine del terzo anno ci furono presentate le varie ricerche che venivano svolte in Istituto. Rimasi colpito da una frase detta da Giorgio Careri che si occupava di studiare varie sostanze allo stato liquido: *...non sappiamo neppure come è fatta l'acqua*. Presi allora una tesi sperimentale con Careri. La tesi consisteva nel misurare il coefficiente di diffusione dell'argon nell'azoto liquido, e successivamente di He^3 in He^4 .

Lavorai in collaborazione con Francesco Paolo Ricci e con Giuliana Cini-Castagnoli.¹ Si passavano in laboratorio dieci-dodici ore al giorno incluso il sabato. Nel gruppo di Careri la domenica mattina si tenevano dei seminari, a cui spesso partecipava anche Carlo Bernardini ed ai quali era bene non mancare. Careri intanto aveva vinto una cattedra all'Università di Bari e il mio relatore finale fu Enrico Persico a cui dovetti fare una buona impressione perché ottenni 110 su 110 pur avendo solo la media del 27.5. Credo che una votazione di 108 sarebbe stata più aderente al mio curriculum scolastico.

¹Per l'analisi delle miscele di azoto usavamo un tracciante radioattivo, il trizio. Per le misure usavamo dei piccoli contatori di Geiger da noi riempiti, e per lo schermaggio dalla radioattività ambientale facevamo uso di un contenitore cilindrico di piombo trovato in Istituto. Per far passare un filo elettrico avevo fatto un buco nel contenitore. Un giorno, mentre ero intento a far misure passò Sebastiano Sciuti, il quale osservò con interesse quel che stavo facendo, dando utili consigli. E poi: "...non sai che questo contenitore di piombo che hai bucato è quello che è stato usato dai ragazzi di via Panisperna per le loro famose misure?". È possibile oggi ammirare questo contenitore (bucato) nella vetrinetta dedicata ai vecchi gloriosi esperimenti.

Ho poi riflettuto sui complicati e sbagliati ragionamenti fatti da uno studente per la scelta della tesi. Il consiglio da me dato in seguito a tutti gli studenti che mi hanno chiesto suggerimenti per la tesi è stato sempre quello di scegliere l'argomento che piaceva di più.

13.3 Il posto e i rapporti con l'industria

Di ritorno dalle vacanze, settembre 1956, prima di mettermi alla ricerca di un posto passai dall'Istituto di Fisica dove mi dissero che mi era stata assegnata una borsa di studio dall'INFN di 50.000 lire il mese, borsa che non avevo chiesto. Nell'attesa di partire per il servizio militare accettai la borsa e trascorsi un anno, fino a luglio 1957, facendo esperimenti di diffusione di He^3 in He^4 nei nascenti laboratori INFN a Frascati. Credo di poter dire di essere stato il primo fisico italiano a lavorare a Frascati, insieme al tedesco Reuss, ma di questo periodo restano solo alcune belle fotografie.

A Gennaio 1958, nell'ambito del servizio militare, fui assegnato quale geofisico all'aeroporto di Ciampino (Fiumicino ancora in costruzione) per il calcolo delle rotte per le linee aeree civili. Avendo molto tempo libero decisi di entrare nel gruppo delle emulsioni nucleari con Giulio Cortini, Carlo Castagnoli, Augusta Manfredini, Giustina Baroni sotto il patronato di Edoardo Amaldi. Conobbi Massimiliano Ferroluzi da cui ebbi modo di apprendere.

Alla fine del servizio militare, gennaio 1959, mi ritrovai con un posto fisso di R6 all'INFN, senza che ne avessi fatto richiesta. Devo dire che ho avuto la fortuna di vivere in un tempo in cui l'INFN era in piena espansione. Da R6 sono diventato R5 e poi assistente universitario straordinario e poi assistente ordinario e poi professore incaricato di fisica della ionosfera, tutto ciò senza aver mai fatto alcuna domanda, tranne l'aver firmato le domande che mi venivano presentate da firmare dagli uffici dell'INFN e dell'Università. Le uniche domande che ho spontaneamente fatto sono state (oltre ad una per una borsa di studio presso la NASA) quelle per due concorsi a cattedra, il primo per Bari dove ho ottenuto la maturità ed il secondo di Fisica Superiore per Lecce nel 1970 dove fui ternato con Carlo Rubbia e Ettore Fiorini. Non nego di essere stato notevolmente fortunato ad essere stato giovane in un periodo dorato (prima dell'effetto Ippolito).

All'inizio del 1959 fui contattato dall'Olivetti. Andai ad Ivrea per un'intervista. L'intervistatore mi chiese quanto stipendio avrei voluto per essere

assunto. Risposi che avrei accettato per uno stipendio di poco superiore a quello che percepivo allora di 80.000 lire al mese come R6 INFN. La risposta fu: "...che cosa pretende lei che si è laureato fuori corso?" (110 su 110 a meno di 23 anni).

Anni dopo, quando ero nel pieno dell'attività spaziale, essendo andato alla NASA per trattare del satellite italiano SIRIO in una commissione, presieduta da Francesco Carassa, di cui faceva parte il capo della ricerca FIAT, colsi l'occasione per proporre alla FIAT di iniziare con loro a Torino un gruppo di ricerche spaziali per la costruzione d'esperimenti da satelliti artificiali. La cosa non li interessava, essendo soddisfatti dall'incarico che avevano di costruire gli scudi termici per alcune missioni.

Da queste esperienze e da quello che ho appreso poi in seguito a varie collaborazioni con l'industria nazionale, ho capito che la nostra industria non è proprio interessata alla ricerca scientifica. Le ricerche di cui si occupano sono mirate essenzialmente ad ottenere immediati risultati tecnologici. Così facendo non ottengono comunque il loro scopo e mostrano una straordinaria limitatezza di vedute.

13.4 Inizio delle ricerche spaziali

Il mio amico Pino Marini (compagno di studi sin dal liceo) mi mostrò nel 1958 un bando di concorso per borse di studio post-laurea presso la NASA, appena costituita. Egli non poteva pensare di far domanda, avendo impegni per il suo prossimo matrimonio. Io feci domanda ed ebbi una lettera di raccomandazione molto forte (come appresi in seguito) da parte di Edoardo Amaldi. Lo stesso Amaldi incontrò James Van Allen (lo scopritore delle fasce omonime) in un convegno a Mosca e gli disse di un giovane fisico interessato a lavorare nelle ricerche spaziali. Due settimane dopo ricevetti una lettera da Van Allen con l'offerta di un posto di *research assistant* presso l'Università di Iowa dove egli era direttore del dipartimento di fisica ed astronomia. Andai in Iowa nel settembre 1959, pur avendo ottenuto nel frattempo la borsa dalla NASA con uno stipendio quasi doppio. In Iowa fui ben accolto, sia per la presentazione da parte di Amaldi sia perché i fisici italiani erano ritenuti fra i migliori (effetto Fermi). Scoprii però che la mia posizione era quella di un *graduate student*, ossia non avevo il titolo di dottore conquistato in Italia e dovetti superare difficili esami per poter approdare al PhD nel febbraio 1962.

L'esperienza americana è stata per me fondamentale. Van Allen mi ha insegnato a fare ricerca. Io ho acquistato fiducia in me stesso, pronto ad affrontare, da quel momento in poi, qualsiasi difficoltà. Spesso ho pensato che un periodo trascorso all'Estero dovrebbe essere inserito nei piani di studio della nostra Università come requisito essenziale per ottenere il titolo di dottore in fisica.

Tornai in Italia nel settembre 1962, con il posto di R6 nell'INFN. Dovevo occuparmi del pedagogaggio per gli studenti ed ero intenzionato a fare ricerca. Rifiutai pertanto (sic!) un incarico di Fisica Generale per ingegneri, nell'idea che gli impegni presi per la ricerca ed il pedagogaggio non mi avrebbero lasciato abbastanza tempo.²

Nel settembre 1962 mi sono trovato solo nel nascente gruppo di ricerche spaziali. Infatti, Anna Maria Conforto, Franco Mariani, Alberto Egidi e Sergio Cantarano, che avevano costituito un gruppo di ricerche con palloni, erano tutti andati negli Stati Uniti, alla NASA e all'MIT da Bruno Rossi. Ebbi la fortuna di avere come mio primo laureando Francesco Melchiorri e, per iniziativa di Giuseppe Occhialini, l'offerta di entrare in una collaborazione con Alberto Bonetti dell'Università di Bari per la misura del vento solare col primo satellite eccentrico europeo HEAOS A. Iniziò così il progetto S73 con uno strumento a deflettore elettrostatico e tazza di Faraday per la misura dei componenti del vento solare. Dopo il rientro di Egidi e Cantarano il progetto, sotto la mia direzione,³ entrò nel suo pieno svolgimento, con il contributo veramente essenziale di Renzo Marconero. Nel corso dei lavori mi occupai in prima persona della strumentazione, sia sperimentalmente che teoricamente. Solo in questo modo potetti risolvere problemi sorti per l'inadeguatezza delle industrie a cui c'eravamo rivolti.

Ricordo ancora l'emozione che provai a Darmstadt nel 1969 quando arrivarono i primi bit da parte del nostro strumento in orbita eccentrica, e come pian piano la curva di velocità del vento solare veniva disegnandosi [1, 2]. Portai questo grafico a Roma e lo mostrai durante una riunione alla quale partecipavano Castagnoli ed Occhialini. Probabilmente questo grafico mi dette la cattedra di fisica superiore a Lecce (Castagnoli ed Occhialini in commissione insieme a Marcello Conversi, Alberto Gigli-Berzolari e Michelangelo Merlin) e permise la fondazione del Laboratorio per il Plasma

²Credo si sia trattato di un caso unico.

³La direzione del gruppo mi venne affidata da Marcello Conversi, allora direttore dell'Istituto, preferendomi a colleghi più anziani.

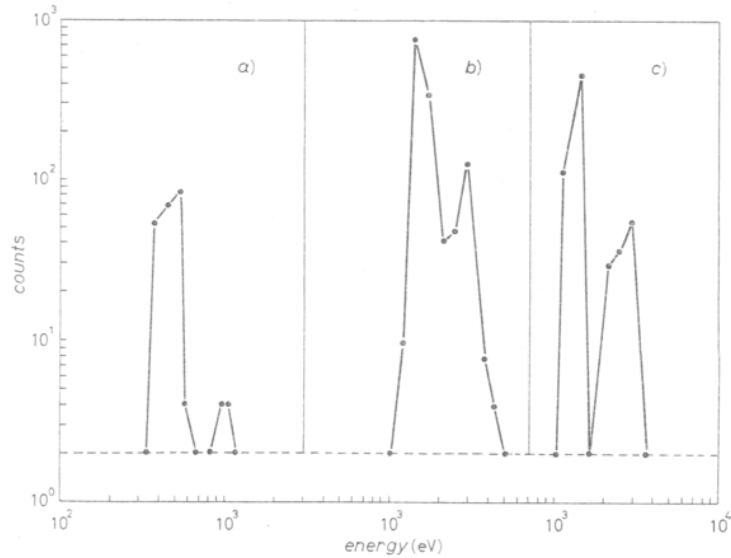


Fig. 8. — Samples of energy distribution beyond the shock front. The highest peak, for each spectrum, is due to protons and the other one to α -particles. The measurements in the energy channels not shown in the Figure are all contained within ± 2 counts. a) 9 Dec. 1968, 14:58 UT; b) 25 Dec. 1968, 06:38 UT; c) 25 Dec. 1968, 12:04 UT.

Figura 13.1: Misura dello spettro del vento solare, eseguita con l'esperimento S73 a bordo del satellite in orbita eccentrica HEOS-1.

nello Spazio, poi diventato Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario del CNR.⁴

13.5 Ricerche spaziali in Italia

Oltre che ad una intensa attività presso l'Ente Spaziale Europeo (ESRO) sotto la spinta di Giuseppe Occhialini, tentammo anche ricerche di fisica nello spazio che si sarebbero dovute svolgere in ambito nazionale.

Un tentativo fu fatto di coinvolgere Luigi Broglio nella realizzazione di un satellite per lo studio delle fasce di Van Allen da lanciare dalla base S. Marco. Insieme ad Amaldi spendemmo molto tempo in riunioni con Broglio ed i suoi collaboratori e giungemmo ad un progetto di massima di

⁴I molti lavori svolti con i dati di HEOS A e pubblicati successivamente sono elencati nella bibliografia dell'Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario.

un satellite denominato SS1 (ne dette notizia anche la stampa). Dopo vari infruttuosi tentativi la cosa finì nel nulla, non so ancora oggi il perché. Devo però segnalare che dopo qualche anno un satellite della NASA proprio con le caratteristiche di SS1 fu lanciato dalla base S. Marco.

Un altro tentativo fu fatto nell'ambito del progetto SIRIO.⁵ Questo satellite aveva lo scopo principale di studiare la trasmissione di segnali elettromagnetici nella banda di molti GHz. Si prestava anch'esso allo studio delle fasce di Van Allen, con opportuna strumentazione che fu progettata nell'ambito dei gruppi fisici spaziali di Roma e di Bologna. La cosa venne anche discussa con la NASA (che avrebbe fornito il lanciatore) nel 1968 (proprio nei giorni della guerra arabo-israeliana dei sei giorni) da una commissione, diretta da Francesco Carassa, di cui facevo parte insieme ad alcuni rappresentanti dell'industria nazionale. Tutto sembrava procedere, ma iniziarono ritardi sempre maggiori. Alla fine decisi che non potevamo fermare tutte le nostre altre ricerche nell'attesa di un ipotetico lancio e comunicai che non eravamo più interessati al progetto. Il SIRIO venne infine lanciato molti anni dopo con il solo esperimento delle onde elettromagnetiche.

13.6 La contestazione studentesca

L'attività spaziale era svolta in locali ricavati sulla terrazza dell'Istituto nel periodo 1965–1969. Durante questo periodo ebbe luogo la contestazione studentesca che peraltro non ci dette problemi nello svolgimento dell'esperimento S73 fino al giorno in cui potemmo consegnare all'Agenzia Spaziale Europea la nostra unità di volo. Ciò accadde verso la fine del 1968. Pochi giorni dopo la contestazione raggiunse il suo massimo. Sampietrini furono ammucchiati in vari posti dell'Ateneo pronti per essere usati e l'Istituto era letteralmente sottosopra. Nell'atrio erano stati portati alla rinfusa molti banchi perciò era difficile entrare ed uscire. Giorgio Salvini girava con un martello in mano pronto a difendersi. Dalla terrazza avevamo visto la battaglia, fra opposte fazioni, per la conquista della Facoltà di Giurisprudenza, con spargimento di sangue.

Io ero rimasto ai margini della contestazione, preso com'ero dall'obbiettivo scientifico. Il vento della contestazione mi aveva comunque sfiorato, tanto da farmi rimproverare da Amaldi in una occasione. Quando la polizia fece

⁵Vedasi l'ottimo lavoro *Italy in space: 1846–1988* di M. De Maria, L. Orlando e F. Pigliacelli, <http://www.esa.int/esapub/hsr/HSR-30.eps>.

irruzione, noi eravamo al lavoro (credo gli unici in Istituto) nei locali sulla terrazza. Vidi arrivare su uno sconosciuto giovane occupante, letteralmente atterrito, in fuga. Nonostante il parere contrario di qualche collega gli detti un camice ed egli finse di lavorare con un nostro strumento quando arrivarono robusti uomini in divisa con manganello. Spiegai che stavamo lavorando ma dovvemmo sgombrare l'edificio. Uscimmo dall'Ateneo fino all'ingresso di Piazzale delle Scienze a bordo di una macchina della polizia, con noi sulla macchina della polizia anche il giovane occupante.

Per quanto la storia non si debba fare con i se, non posso non riflettere sul fatto che se avessimo ritardato di un paio di settimane nella consegna dell'unità da volo di S73, questo non avrebbe volato, non sarebbe stato fondato l'IFSI e probabilmente la ricerca delle onde gravitazionali in Italia non sarebbe mai cominciata. A mio parere, comunque, la contestazione giovanile, sebbene abbia colpito culturalmente una generazione di giovani, ha avuto il pregio di condurre ad un miglior rapporto fra studenti e docenti.

13.7 Nascita della ricerca delle onde gravitazionali

Edoardo Amaldi ha promosso in Italia la ricerca delle onde gravitazionali e vi ha partecipato attivamente. Nel 1961 Amaldi aveva seguito a Varenna un corso tenuto da Joe Weber che poi visitò nel 1966 e, allo stesso tempo, aveva cercato di convincere qualche collega od allievo ad iniziare un'attività sperimentale in questo nuovissimo campo di ricerca in Italia. Pertanto, quando il 3 settembre 1970 gli proposi di iniziare un esperimento per la rivelazione delle onde gravitazionali, fu estremamente felice, dette tutto il suo appoggio e si impegnò a pieno tempo scientificamente in esso.⁶

Si formò un gruppo costituito da Edoardo Amaldi, Massimo Cerdonio, Renzo Marconero e Guido Pizzella. A gennaio 1971 Remo Ruffini, che allora era a Stanford, ci inviò, in forma riservata, la proposta di William Fairbank (Università di Stanford) e William Hamilton (Università della Louisiana) di

⁶“Di colpo i suoi occhi si accesero come fari e mi fissò a lungo. Mai ho visto tanto entusiasmo e consapevolezza concentrati in uno sguardo. In quel momento non c'era nessuna altra cosa che contasse di più di questa decisione che stava per essere presa. Quando scopriremo le onde gravitazionali quello sguardo sarà ancora lì a far luce.” ([3], p. 30). Vedi anche U. Amaldi, *Third Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves*, Pasadena 12–16 July 1999.

una grossa antenna ultracriogenica da cinque tonnellate con trasduttore a SQUID. Appena vista questa proposta decisi che anche a Roma avremmo dovuto realizzare un esperimento analogo. Poiché serviva un laboratorio che potesse ospitare l'antenna e servivano anche fisici criogenici, Amaldi convocò una riunione con il direttore dei Laboratori dell' INFN di Frascati. Peraltro a quella data i Laboratori non risultarono disponibili. Fu chiesto allora a Ivo Modena di unirsi al gruppo per occuparsi della criogenia. Il 19 aprile 1971 un gruppo formato da me, Cerdonio, Modena, Marconero con la collaborazione di Ruffini andò in USA a visitare Stanford, Louisiana, NASA, Bell Telephone. Iniziò così la collaborazione LSU–Roma–Stanford, per cui fu chiesto a Roma al CNR un finanziamento di 218 milioni per tre anni di cui 82.5 milioni per il primo anno.

Negli anni successivi altri validi ricercatori, fra cui GianVittorio Pallottino esperto di elettronica, entrarono a far parte del gruppo, denominato ROG (Ricerca Onde Gravitazionali). In ciò che segue descriverò brevemente alcuni dei principali risultati ottenuti a partire dagli anni '70 fino ai nostri giorni.

13.8 Le onde gravitazionali in Relatività Generale

Ricordiamo che l'equazione fondamentale della RG è

$$R_{ik} = \frac{8\pi G}{c^2} (T_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} T) \quad (13.1)$$

ove R_{ik} è il tensore di Ricci, T_{ik} è il tensore energia-impulso, (T è la sua traccia) e g_{ik} è il tensore metrico che entra nell'espressione per R_{ik} in maniera non lineare. Il tensore g_{ik} è l'incognita nella Eq.13.1 e descrive l'azione della gravità mediante una perturbazione della geometria dello spazio-tempo.

Nel vuoto la Eq.13.1 diventa

$$R_{ik} = 0 \quad (13.2)$$

che, essendo non lineare, non può essere risolta in generale. Una semplice soluzione si trova nell'ipotesi di *campo debole*

$$g_{ik} \simeq \delta_{ik} + h_{ik} \quad (13.3)$$

ove $|h_{ik}| \ll 1$ è un tensore che indica una perturbazione della metrica dello spazio-tempo dovuta all'azione della gravità. In tal caso la Eq.13.2 diventa

l'equazione delle onde

$$\Delta h_{ik} = 0 \quad (13.4)$$

nel vuoto. Si trova così che le onde gravitazionali (OG) viaggiano nel vuoto alla velocità della luce. D'ora in poi indicheremo con h una generica perturbazione del tensore metrico.

Vediamo ora come le OG possono essere generate. Si può dimostrare che un insieme di masse in moto accelerato l'una rispetto all'altra emette OG la cui potenza irradiata è in totale

$$W = \frac{G}{45c^5} \left(\frac{d^3}{dt^3} D_{\alpha\beta} \right)^2 \quad (13.5)$$

dove $D_{\alpha\beta}$ è il tensore di quadrupolo della distribuzione delle masse. Si noti la sua derivata temporale terza ed il piccolissimo valore della costante $\frac{G}{45c^5}$. Di conseguenza si hanno potenze irraggiante estremamente piccole e già Einstein nel 1916 valutò che la potenza irraggiata da una qualsiasi sorgente realizzabile in un laboratorio è così piccola che *ha un valore praticamente nullo*. Per tale motivo oggi solo sorgenti cosmiche, ove grandissime masse ed accelerazioni sono presenti, vengono prese in considerazione. Fra queste elenchiamo:

- Le OG emesse dai sistemi di stelle binarie. Alcuni anni fa Hulse Taylor hanno ottenuto il premio Nobel misurando la diminuzione di energia del sistema binario PSR 1913+16 e mostrando, fra l'altro, che esso perde energia così come previsto dalla RG.
- Le OG gravitazionali emesse dalle pulsar. Ciò può accadere se la pulsar non ha simmetria sferica, di modo che il suo tensore di quadrupolo vari nel tempo a causa delle rotazione. Per dare un'idea della piccolezza dei segnali aspettati sulla Terra, se consideriamo una stella di neutroni dal raggio di 10 km e con una asimmetria equatoriale di 100 μm ruotante con un periodo di 1 ms, troviamo sulla Terra, ad una distanza di 1 kpc, una perturbazione del tensore metrico dell'ordine di $h \sim 5 \cdot 10^{-27}$.
- Le OG emesse dalle supernove. Anche in questo caso è necessario che l'esplosione avvenga in modo non simmetrico. Vi sono molti modelli in proposito, ma in generale possiamo vedere che la perturbazione osservata sulla Terra è data da

$$h = 1.7 \cdot 10^{-20} \frac{10Mpc}{R} \sqrt{\frac{M_{gw}}{M_o}} \quad (13.6)$$

dove R è la distanza della sorgente dalla Terra e M_{gw} è la quantità di materia, dipendente dal modello considerato, che viene interamente convertita in OG.

- Le OG emesse per la caduta di una stella di massa m entro un buco nero di massa M_{bh} . L'energia emessa è in tal caso

$$\Delta E = 0.0025 \frac{m^2 c^2}{M_{bh}} \quad (13.7)$$

- Infine le OG emesse al tempo di Planck, ossia 10^{-43} secondi dopo il big-bang. La misura di queste OG porterebbe un'informazione fondamentale per comprendere la nascita dell'Universo.

13.9 Funzionamento di rivelatori risonanti

Joe Weber dell'Università del Maryland ebbe negli anni '50 un'idea molto ingegnosa. Egli pensò che la perturbazione h del tensore metrico avrebbe fatto vibrare una sbarra massiva. Per semplicità modellizziamo una sbarra metallica risonante con un oscillatore armonico costituito da due masse a distanza L connesse da una molla. Si può mostrare che la variazione ξ della distanza L per effetto dell' OG di ampiezza h obbedisce all'equazione

$$\ddot{\xi} + 2\beta_1 \dot{\xi} + \omega_o^2 \xi = \frac{L}{2} \ddot{h} \quad (13.8)$$

ove β_1 indica le perdite per dissipazione (fattore di merito Q) ed ω_o è la pulsazione di risonanza. Nel caso di un fiotto di OG, ossia di durata molto breve che arriva al tempo $t=0$, si ottiene

$$\xi(t) \simeq -\frac{L}{2} h(\omega_o) e^{-\beta_1 t} \omega_o \sin \omega_o t \quad (13.9)$$

ove $h(\omega_o)$ è la trasformata di Fourier del fiotto. Come ordine di grandezza si vede che, per un fiotto con $h = 10^{-18}$ (supernova vicina), si ha, per una sbarra lunga un metro, una vibrazione con ampiezza dell'ordine di 10^{-18} m. Questa vibrazione si deve confrontare con il rumore termico dell'oscillatore. Molto semplicemente, per un oscillatore di massa $M = 1000$ kg e frequenza di risonanza a 1000 Hz, alla temperatura di 1 K si ha una vibrazione quadratica media con ampiezza data da

$$\sqrt{\frac{k_B T}{M \omega_o^2}} \sim 2 \cdot 10^{-17} \text{ m} \quad (13.10)$$

ossia maggiore del segnale aspettato nei casi più ottimistici. A questo rumore si aggiunge un egual rumore degli apparati elettronici.

Da qui si capisce la grande difficoltà dell'esperimento che cerca segnali dovuti alla forza gravitazionale mentre i rumori sono essenzialmente dovuti alle molto più grandi forze elettromagnetiche. Il problema si affronta raffreddando il rivelatore ed utilizzando algoritmi di filtraggio dei dati ottimizzati in modo da estrarre piccoli segnali in presenza di un rumore più grande (per esempio un filtro di Wiener).

13.10 La SN1987A

Nel 1984 decidemmo di costruire un'antenna a temperatura ambiente allo scopo di studiare la possibile influenza dei fenomeni terrestri sulle antenne gravitazionali. I finanziamenti furono richiesti alla Facoltà di Scienze dell'Università di Roma. La nostra richiesta di 300 milioni fu esaminata dalla Commissione di Ateneo per la Ricerca, presieduta da Carlo Bernardini. Bernardini decise di accogliere in pieno la richiesta da me avanzata assieme a GianVittorio Pallottino, pur avendo a disposizione giusto 300 milioni per tutta la Facoltà. La nuova antenna di Alluminio di 2300 kg, equipaggiata con una ceramica piezoelettrica, fu denominata GEOGRAV.

Alle ore 2, 56 minuti e 36 secondi UT del 23 febbraio 1987 GEOGRAV era in funzione nelle migliori condizioni possibili per ciò che riguardava possibili disturbi esterni, essendo questa la notte fra la domenica e il lunedì. Il giorno dopo Francesco Bertola mi informò che una supernova visibile dalla Terra era esplosa nella grande Nube di Magellano. Il 25 Febbraio ricevetti una telefonata da Carlo Castagnoli che mi comunicava che il loro rivelatore di neutrini del Monte Bianco aveva osservato un fiotto di cinque neutrini, evento raro, al tempo suddetto. Essendo noto il tempo esatto valeva la pena di dare un'occhiata ai dati di GEOGRAV, nonostante la sensibilità di GEOGRAV fosse molto inferiore a quella necessaria per rivelare onde gravitazionali. Così stampammo una pagina di misure, ossia circa 60 misure, una al secondo. Il valore più alto cadeva esattamente un secondo prima del tempo indicato da Castagnoli.

Ci fu grande eccitazione, anche se l'energia dei segnali di GEOGRAV eccedesse i valori aspettati di almeno quattro ordini di grandezza nel caso di onde gravitazionali. Il 3 Marzo comunicammo questo risultato durante un convegno a La Thuile, in Val d'Aosta. Nei due-tre giorni successivi fui



Figura 13.2: La SN1987A del 23 febbraio 1987 nella grande nube di Magellano.

bombardato da molte telefonate da ogni parte del mondo. In particolare fui contattato da Time che mi chiese un'intervista a Roma per il sabato successivo. Il sabato Amaldi ed io fummo intervistati a Roma da una giornalista. Dopo un po' dall'inizio dell'intervista la giornalista ci domandò: "Sapete nulla delle osservazioni di Kamiokande alle ore 7:35 del 23 febbraio, ossia quattro ore e mezza dopo il tempo dei segnali osservati col rivelatore del Monte Bianco?". Non ne sapevamo nulla.

Considerando la bassissima probabilità di poter osservare un'altra supernova decidemmo comunque di studiare a fondo le correlazioni fra i dati del nostro rivelatore GEOGRAV (RO) e quelli del rivelatore di neutrini del Monte Bianco, prendendo in considerazione anche i dati raccolti da una antenna simile a GEOGRAV installata nel Maryland (MA) da Weber. L'algoritmo usato per studiare la correlazione fra i dati RO-MA ed i segnali del rivelatore di neutrini fu il seguente.

$$E(\phi) = \frac{1}{N_\nu} \sum_i^{1, N_\nu} [E_R(t_i + \phi) + E_M(t_i + \phi)] \quad (13.11)$$

ove E_R e E_M sono le energie dei segnali osservati da GEOGRAV e da Maryland (ottenuti a intervalli di tempo di 1 secondo fra loro sincronizzati) al tempo t_i dell' i^{mo} segnale del rivelatore di neutrini più un tempo ϕ . La sommatoria è estesa su un dato periodo di tempo (per esempio un'ora) in cui vi sono N_ν segnali di neutrini. ϕ indica un prefissato sfasamento fra il tempo dei segnali neutrinici e quelli delle antenne gravitazionali.

La somma $E(\phi)$ va confrontata con un fondo $E_f(\phi)$ ottenuto variando in modo casuale i tempi, indipendentemente per GEOGRAV e Maryland⁷. Se una correlazione esiste dobbiamo trovare un valore $E(\phi)$ maggiore di molti dei valori ottenuti per il fondo. Naturalmente ϕ è un parametro libero, che ci aspettiamo molto prossimo allo zero data la piccolissima (o nulla) massa dei neutrini (un ritardo di 1 secondo corrisponderebbe ad una massa del neutrino $m_\nu = 6 \text{ eV}$).

Il risultato di questa analisi su un periodo di due ore centrato al tempo 2h, 56m, 36s è mostrato nella figura 13.4 (il tempo *zero* nella figura corrisponde ad un ritardo dei neutrini di 1.2 secondi), da cui si deduce che a $\phi = +1.1 \text{ s}$, ossia ad un ritardo⁸ dei neutrini di 1.1 s, si ha che solo uno dei valori $E_s(\phi)$, su un milione considerati per il fondo, è maggiore di $E(\phi)$, cosa che implicherebbe una probabilità di $\sim 10^{-6}$ che il valore trovato $E(\phi)$ fosse casuale. Va notato che il ritardo di 1.1 s che *ottimizza* la probabilità è molto prossimo a 1.4 s da noi comunicato a La Thuile un anno prima usando solo il 5% dei dati.

Ci ponemmo allora il problema di studiare le correlazioni con il rivelatore di neutrini Kamiokande, usando le stesse procedure impiegate per il Monte Bianco e descritte dalla formula 13.11. Il problema con Kamiokande era l'incertezza temporale, $\pm 1 \text{ min}$, dei segnali neutrinici. Abbiamo proceduto allora ad applicare la Eq.13.11 aggiungendo al tempo registrato di Kamiokande una correzione aggiustabile di δ secondi. Il risultato è mostrato in fig.13.5 in cui il periodo su cui si applica la formula 13.11 è di un ora con $\phi = 1.2$, aggiustando inoltre il tempo di Kamiokande di $\delta = +7.8 \text{ s}$. Il periodo di un'ora viene spostato in gradini di un decimo di ora a partire dalle ore 0 del 23 Febbraio fino alle ore 8. Per confronto, nella figura 13.5

⁷In un'ora vi sono 3600 segnali di GEOGRAV e 3600 segnali di Maryland indipendenti, per cui possiamo costruire oltre un milione di combinazioni indipendenti. Questo non era stato capito da Bernard Schutz che ha criticato la nostra correlazione sulla base di sole 3600 combinazioni per il fondo.

⁸Da questo ritardo è difficile dedurre la massa del neutrino, perché alla sorgente l'emissione di neutrini e di OG può non essere contemporanea.



Figura 13.3: Edoardo Amaldi e Guido Pizzella alla *General Relativity Conference* in Padova nel 1983. Fotografia scattata da Emilio Segrè.

viene mostrato anche l'andamento della correlazione con il Monte Bianco. La cosa straordinaria è che, **successivamente**⁹, ossia dopo aver trovato che $\delta = +7.8$ s permetteva di trovare una correlazione di RO-MA anche con Kamiokande, abbiamo trovato che se si impone la coincidenza fra il fiotto di undici neutrini di Kamiokande alle ore 7:35:41 UT con gli otto neutrini del rivelatore IMB (i cui tempi sono noti con grande accuratezza), come viene fatto da tutti i ricercatori, è proprio necessario apportare un correzione di $\delta = +7.8$ s! Si vede quindi che anche i dati di Kamiokande

⁹Ciò è documentato nella letteratura scientifica, G. Pizzella, *Fifth M. Grossman Meeting in Perth*, 1988, Series Ed. R. Ruffini e in *Quaderni di Storia della Fisica*, n. 7,

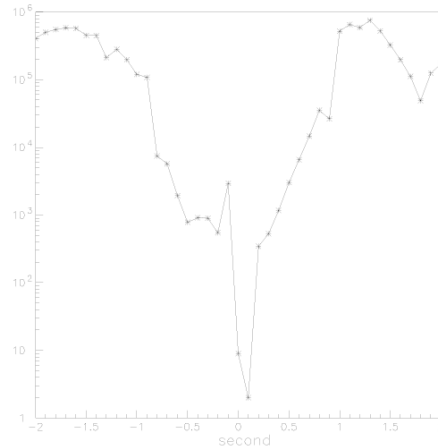


Figura 13.4: Correlazione fra i dati RO-MA e quelli del Monte Bianco su un periodo di due ore centrato al tempo 2h, 56m, 36s. Sulle ascisse viene indicato il ritardo dei segnali neutrini (in numero di 97) avendo sottratto 1.2 s (per comodità di calcolo), ossia lo *zero* della scala corrisponde ad un ritardo $\phi = 1.2$ s. Sulle ordinate riportiamo, per ogni ϕ , il numero di volte che, eseguendo un milione di estrazioni a caso dei tempi entro le due ore, si ottiene una $E_f(\phi)$ maggiore o eguale a $E(\phi)$.

sono correlati con RO-MA, ma al tempo del Monte Bianco. La fig.13.5 mostra anzi che le correlazioni con RO-MA di entrambi Monte Bianco e Kamiokande, indipendenti l'uno dall'altro, sono straordinariamente simili. D'altra parte che il fenomeno della supernova non si dovesse esaurire in un breve attimo, come molti credono¹⁰, risulta anche dal fatto che alle ore 7:54:22.26 UT del 23 Febbraio, ossia dopo circa venti minuti dal frotto di undici neutrini di Kamiokande, negli stessi dati di Kamiokande vi è un altro frotto di sette neutrini con bassissima probabilità di essere casuale, mai però pubblicato dai ricercatori giapponesi.

Se si crede che i segnali osservati da RO-MA siano proprio OG è necessario considerare una sezione d'urto dei rivelatori risonanti per le OG più grande di almeno 3-4 ordini di grandezza di quanto attualmente si creda.

Società Italiana di Fisica, 2000.

¹⁰Vi sono peraltro lavori di Alvaro De Rujula e di Vladimir Imshennik e Olga Ryashskya nei quali si discutono modelli in cui il fenomeno della SN1987A dura alcune ore.

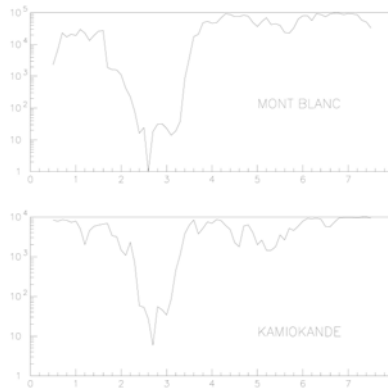


Figura 13.5: Come nella figura 13.4 per $\phi = 1.2$ su periodi di un'ora variabili dalle ore 0 alle ore 8. Il tempo di Kamiokande è stato corretto di $\delta = +7.8$ s.

13.11 I rivelatori di onde gravitazionali EXPLORER e NAUTILUS

I rivelatori di onde gravitazionali EXPLORER e NAUTILUS consistono ciascuno in una sbarra di Alluminio lunga 3 metri, dal diametro di 60 cm con una massa di 2270 kg. All'arrivo dell'onda gravitazionale essi vibrano alla loro frequenza di risonanza longitudinale $\nu = \frac{v_s}{2L} \sim 915$ Hz, ove $v_s = 5400 \frac{m}{s}$ è la velocità del suono nell'Alluminio, con un'ampiezza di vibrazione data dalla Eq.13.9 e quindi estremamente piccola. La vibrazione viene rivelata mediante un trasduttore elettromeccanico capacitivo, consistente in un condensatore, una armatura del quale è fissa e l'altra può vibrare alla stessa frequenza della sbarra, costituendo così un sistema di due oscillatori accoppiati, con due risonanze. La distanza fra le armature varia quando la sbarra è sollecitata da un OG o da rumore. Si depone quindi sul condensatore una carica elettrica costante nel tempo che genera un segnale di tensione variabile quando la distanza fra le armature varia per effetto della vibrazione, segnale che viene amplificato mediante amplificatori a SQUID¹¹ e registrato.

¹¹Gli SQUID sono dispositivi superconduttori che permettono di misurare deboli flussi magnetici, nel nostro caso ottenuti inviando il segnale proveniente dal trasduttore in una

Data la piccolezza del segnale aspettato per le OG è necessario prendere molte precauzioni. Innanzitutto va reso il più piccolo possibile il rumore termico espresso dalla Eq.13.10. Ciò si fa mettendo ciascuna sbarra in un criostato, ossia in un contenitore raffreddato con l'elio liquido (4.2 K alla pressione atmosferica). Questo criostato, costituito da vari contenitori cilindrici ciascuno dei quali ad una temperatura decrescente verso l'interno, deve essere il più possibile isolato dai disturbi provenienti dall'esterno. Ciò si ottiene sospendendo i vari contenitori criogenici del criostato mediante cavi che svolgono il ruolo di filtri meccanici ed infine sospendendo la barra entro il contenitore più interno con una cavo che la avvolge parzialmente al di sotto della sua sezione baricentrale. In questo modo si ottiene in totale un'attenuazione meccanica migliore di circa 200 db, che assicura l'attenuazione di disturbi meccanici non elevati.¹²

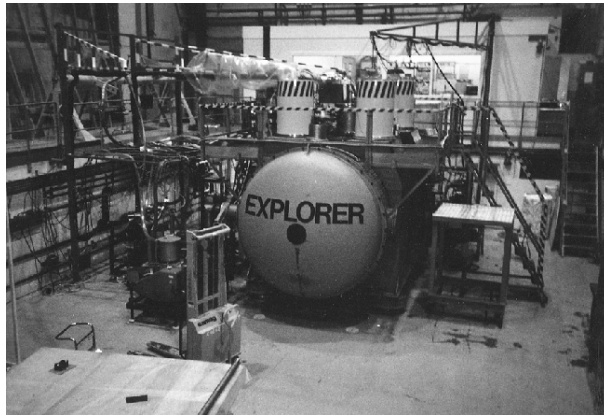


Figura 13.6: Il rivelatore di onde gravitazionali EXPLORER installato al CERN.

Il primo rivelatore criogenico del gruppo ROG è stato EXPLORER¹³, mostrato in fig.13.6, il cui assemblaggio è iniziato nel 1980 al CERN. EXPLORER può essere raffreddato fino alla temperatura di 2 K. Successivamente è

bobina. Un uso importante di questi dispositivi è nello studio delle deboli correnti elettriche generate nei circuiti biologici cerebrali. È stato anche tentata la loro applicazione nei circuiti cibernetici, finora senza un completo successo.

¹²Il rivelatore è peraltro sensibile ai terremoti anche lievi, ma di questo si tiene conto sia mediante l'ausilio di sismografi e soprattutto mediante le coincidenze con un altro rivelatore situato a grande distanza.

¹³EXPLORER, in operazione dal 1990, è stato il primo rivelatore criogenico ad entrare in funzione in modo continuativo.

stato costruito NAUTILUS mostrato nella figura 13.7, assemblato al CERN prima e poi, dal 1990, installato presso i Laboratori Nazionali dell'INFN a Frascati, su invito dell'allora direttore Enzo Iarocci.¹⁴ NAUTILUS è stato equipaggiato con un refrigeratore a diluizione che permette il raffreddamento della sbarra fino a 0.1 K, temperatura mai raggiunta finora per corpi di grosse dimensioni.

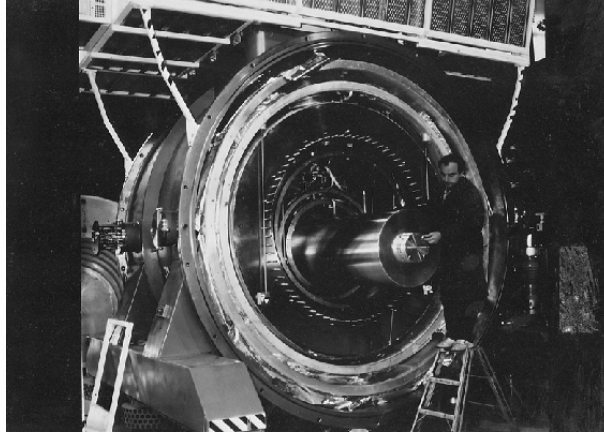


Figura 13.7: Il rivelatore di onde gravitazionali NAUTILUS installato presso i laboratori INFN a Frascati.

13.12 Inaspettati segnali dai raggi cosmici

I raggi cosmici generano segnali in un'antenna gravitazionale massiva. I segnali sono dovuti alle vibrazioni prodotte dall'espansione meccanica che si ha lungo il percorso delle particelle cosmiche, a causa del riscaldamento dovuto alla dissipazione di energia. Pertanto i segnali dipendono dal rapporto del coefficiente di espansione termica al calore specifico, ossia dal coefficiente di Grüneisen. Questo è indipendente dalla temperatura almeno finché il materiale non diventa superconduttore (1 K per l'Alluminio). I vari modelli termoacustici concordano nel calcolo dell'energia ϵ aspettata nel modo risonante del rivelatore

$$\epsilon = 7.64 \cdot 10^{-9} W^2 \cdot f \quad (13.12)$$

¹⁴Questo spostamento di NAUTILUS dal CERN a Frascati ha potenziato enormemente la nostra ricerca di onde gravitazionali, mediante l'uso delle coincidenze.

dove ϵ è espressa in *kelvin*, W (in GeV) è l'energia dissipata nella sbarra, ed f è un fattore geometrico dell'ordine dell'unità.

Sono state inizialmente eseguite misure con NAUTILUS con apparecchiatura per i raggi cosmici progettata e realizzata da Francesco Ronga. La prima osservazione di segnali dovuti a sciami cosmici è stata fatta da Pina Modestino e si è trovato il risultato mostrato nella figura 13.8, ove sono stati sommati i dati filtrati di NAUTILUS in coincidenza con 46 segnali dovuti a sciami cosmici di molteplicità M (numero di particelle che attraversano il rivelatore)

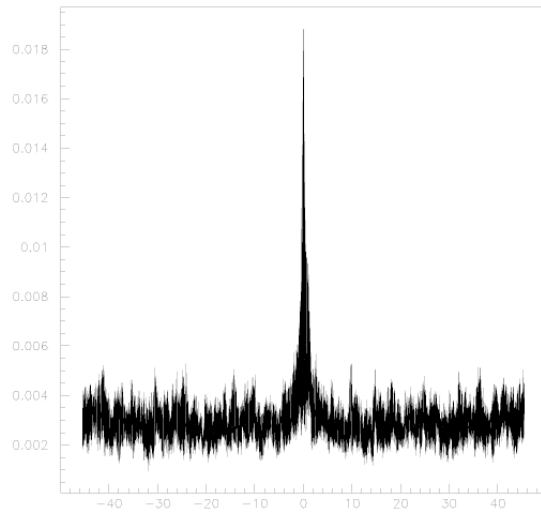


Figura 13.8: La risposta di NAUTILUS per 46 sciami con molteplicità $M \geq 15 \cdot 10^3$ viene mostrata in funzione del tempo (secondi, con lo *zero* al tempo di arrivo degli sciami cosmici).

Si vede l'effetto dei raggi cosmici al di là di ogni dubbio (30 sigma ed oltre). Successivamente si è visto che alcuni dei segnali osservati erano molto più grandi di quanto previsto dalla formula 13.12, di circa 2-3 ordini di grandezza. Mostriamo il più grande da noi trovato nella figura 13.9.

Attualmente stiamo conducendo presso i Laboratori INFN di Frascati, sotto la guida di Ronga, un esperimento (RAP) con una piccola barra raffreddata a 0.1 kelvin facendo uso del fascio di elettroni di DAFNE. Si tratta di vedere se il motivo per cui i segnali di NAUTILUS superconduttore sono maggiori del previsto sia da ascrivere ad un più grande valore del fattore

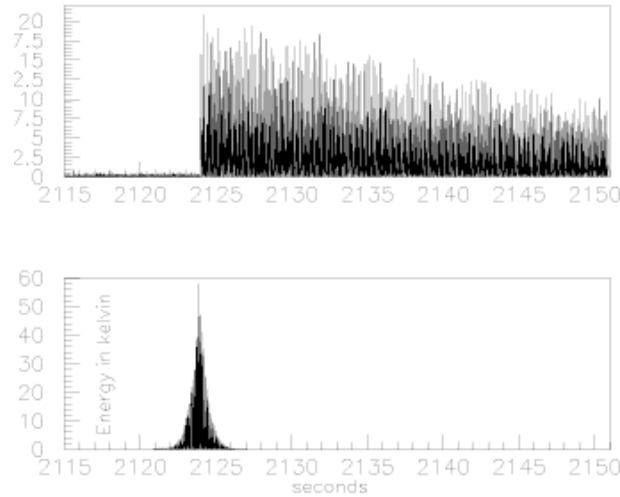


Figura 13.9: NAUTILUS 1998, il più grande evento cosmico da noi rivelato. Nel grafico superiore mostriamo il segnale in Volt quadrati dei dati rozzi, ossia prima del filtraggio, verso il tempo in secondi contati dalla mezzanotte. Dal decadimento del segnale deduciamo il fattore di merito $Q = 1.7 \cdot 10^5$ del rivelatore. La figura inferiore dà il segnale filtrato espresso in kelvin. La larghezza della curva fornisce la banda del rivelatore $\Delta f \sim 0.3 \text{ Hz}$.

di Grüneisen. Nel caso ciò non fosse, rimarrà da vedere se il motivo dei grandi segnali non sia da ascrivere ad una particolare componente della radiazione cosmica.

13.13 Onde Gravitazionali?

Sin dall'inizio¹⁵ l'obiettivo principale della ricerca delle OG è stato quello di cercare eventi in coincidenza fra due rivelatori, installati a grande distanza allo scopo di eliminare i disturbi sismici ed elettromagnetici di origine locale. I rivelatori forniscono dati che è necessario filtrare per poter estrarre i piccoli segnali immersi nel più grosso rumore termico ed elettronico. Ciò si fa applicando degli algoritmi ottimizzati alla ricerca di segnali di brevissima durata (ordine di 1 ms). Questo va bene per segnali dovuti a collassi gra-

¹⁵Come noto Joe Weber dell'Università del Maryland iniziò questa ricerca alla fine degli anni '50.

vitazionali, alla collisione finale di sistemi binari, alla cattura di stelle da parte di buchi neri.

Si fissa quindi una soglia di rivelazione. Quando il dato filtrato supera questa soglia si ha un *evento*. Naturalmente l'evento si ottiene da una combinazione del *segnale* dovuto all'arrivo di un' OG e del rumore del rivelatore. Data la piccolezza dei segnali, il rumore gioca un ruolo importante, sia per ciò che riguarda l'ampiezza dell'evento sia per il tempo di occorrenza dell'evento stesso.

Il primo esperimento di coincidenza dopo Weber con rivelatori criogenici fu fatto dai gruppi della Louisiana, Roma e Stanford nel 1989. Non furono trovate coincidenze triple e si potè dare solo un limite superiore al flusso della radiazione gravitazionale. Successivamente altri esperimenti furono fatti dai gruppi dotati di antenne risonanti: ALLEGRO (Louisiana), AURIGA (Padova), EXPLORER (CERN), NAUTILUS (Frascati) e NIOBE (Perth). Anche in questi caso non furono trovate coincidenze in eccesso sul fondo delle coincidenze accidentali, e limiti superiori più stringenti furono determinati.

Nel 1998 il rivelatore NAUTILUS installato a Frascati (il medesimo con cui è stata osservata la radiazione cosmica) ha cominciato a funzionare con una buona sensibilità. Purtroppo a partire da tale data e fino a tutto il 2004 solo EXPLORER al CERN rimase in funzione oltre a NAUTILUS. In ciò che segue mostreremo i risultati ottenuti cercando coincidenze fra questi due rivelatori, usando un metodo nuovo rispetto al metodo usato da noi in passato, consistente nel cercare separatamente le coincidenze per ogni ora siderale e nel confrontare le energie dei segnali coincidenti.

Gli eventi di ciascun rivelatore sono stati ripartiti in 24 categorie indipendenti, una categoria per ogni ora siderale. Il motivo di ciò è che i rivelatori di forma cilindrica hanno una sensibilità alle OG che varia con l'angolo di incidenza delle onde stesse, essendo massima quando la direzione delle OG è perpendicolare all'asse del rivelatore. Pertanto quando la Terra ruota attorno al proprio asse, se la sorgente di OG si trova in un punto dell'Universo ben lontano dal Sistema Solare, ci si aspetta che la risposta del rivelatore sia modulata con l'ora siderale. Per ogni categoria si determina il numero n_c delle coincidenze e le coincidenze accidentali con valore medio \bar{n} , quest'ultime utilizzando il metodo degli sfasamenti temporali.

I risultati ottenuti con i dati registrati nel 2001 in un periodo di 1490 ore,

usando una finestra¹⁶ di coincidenza $w = \pm 0.5 s$ sono mostrati nella figura 13.10.

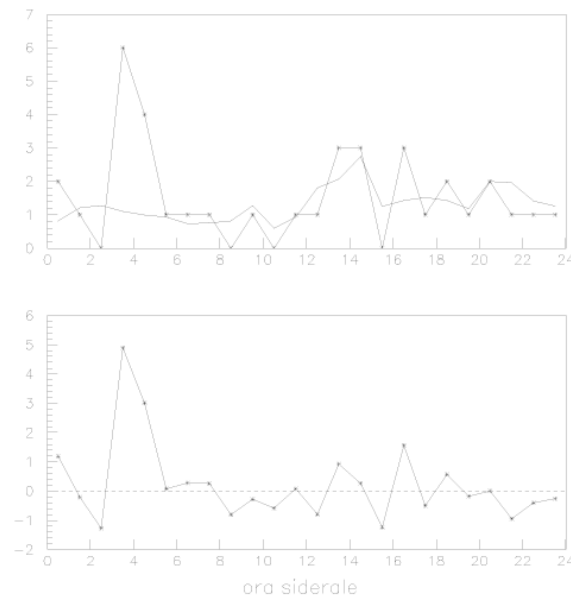


Figura 13.10: Dati del 2001. Finestra di coincidenza $w = \pm 0.5 s$. Nel grafico superiore per ogni ora siderale mostriamo il numero di coincidenze n_c indicato con un asterisco ed il numero medio \bar{n} delle accidentali, indicato con la linea continua. Nel grafico inferiore mostriamo la differenza fra il numero delle coincidenze e quello medio delle accidentali.

Notiamo un eccesso di coincidenze intorno all'ora siderale 4 che ricalca un più piccolo eccesso già osservato con i dati del 1998. Questa è proprio l'ora siderale in cui l'asse dei rivelatori (che sono paralleli l'uno all'altro) è perpendicolare alla direzione verso il Centro Galattico e quindi in queste condizioni la sensibilità dei rivelatori è massima. Anche all'ora siderale 13.6 l'asse è perpendicolare al CG, ma non si vede a tale ora un eccesso

¹⁶La scelta della finestra di coincidenza è legata all'incertezza temporale degli eventi che a sua volta è dovuta alla larghezza di banda dei due rivelatori. Questa dipende essenzialmente dal trasduttore elettromeccanico. Nel 2001 l'incertezza temporale degli eventi di NAUTILUS aveva una deviazione standard di circa 150 ms, quella di EXPLORER (con un trasduttore meccanico migliorato) soltanto 10 ms. Tenendo conto di piccoli errori sistematici e prendendo tre deviazioni standard complessive si ottiene una finestra di coincidenza di $w = \pm 0.5 s$.

di coincidenze. Un tentativo di spiegazione è che all'ora siderale 4.3 l'asse dei rivelatori è perpendicolare non solo al CG ma anche a tutto il Disco, mentre ciò non è all'ora siderale 13.6. Questo tentativo di spiegazione è supportato dalla figura 13.11.

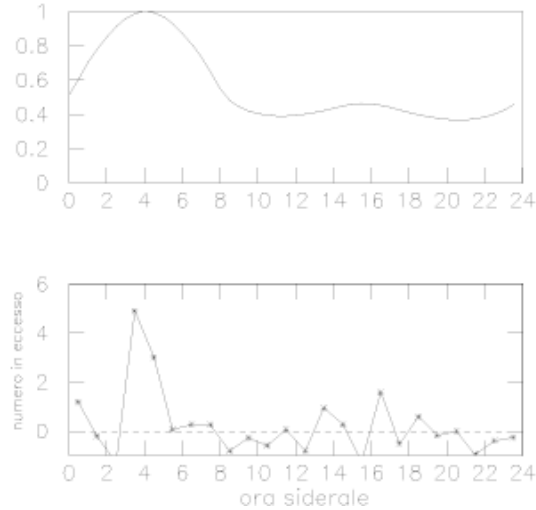


Figura 13.11: Il grafico superiore mostra, in unità arbitrarie, la risposta che ci si aspetta dai rivelatori nell'ipotesi che le sorgenti siano distribuite uniformemente su tutto il Disco Galattico. Il grafico inferiore mostra il risultato trovato, in termini delle differenze fra le coincidenze vere e quelle accidentali.

Recentemente sono stati analizzati anche i dati ottenuti con EXPLORER e NAUTILUS nel 2003 per un periodo di 3094 ore. In quest'anno la larghezza di banda di NAUTILUS è stata portata a circa 10 Hz mediante l'uso di un trasduttore elettromeccanico simile a quello di EXPLORER. Conseguentemente la finestra temporale per la ricerca di coincidenze è di soli 30 ms. Il risultato preliminare per il 2003 è mostrato in figura 13.12.

Si vede un picco simile a quello del 2001. Si deve però osservare che il numero di coincidenze in eccesso è minore che nel 2001. Pertanto, se il risultato non è dovuto a fluttuazioni del fondo si deve concludere che il fenomeno osservato non ha carattere di uniformità temporale, come d'altra parte ci si può aspettare nell'ottica di un fenomeno dovuto alla nostra sola Galassia.

Una conclusione che si può trarre dalle misure eseguite dal gruppo romano, sia al tempo della SN1987A, sia successivamente, è che sono state osservate,

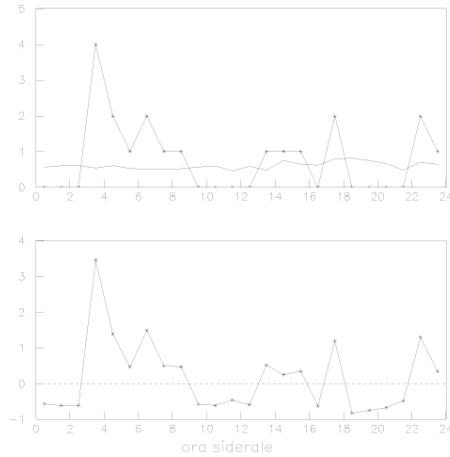


Figura 13.12: Dati preliminari del 2003. Come nella figura 13.10 per coincidenze con finestra $w = \pm 30$ ms.

con buona significatività statistica, coincidenze in eccesso rispetto al fondo costituito dalle accidentali. L'eccesso di coincidenze continua a manifestarsi anche negli anni successivi al 2003. Un modello fisico che spieghi questo risultato non è disponibile al momento, ma ... *eppur si muove*.

13.14 Il ruolo di Edoardo Amaldi nella ricerca delle onde gravitazionali

Il ruolo di Edoardo Amaldi nella ricerca delle onde gravitazionali è stato pienamente riconosciuto dalla comunità internazionale, che gli ha dedicato la più importante serie di Conferenze sulle onde gravitazionali, le *Edoardo Amaldi's Conference*. Amaldi lavorò nella ricerca delle onde gravitazionali a pieno tempo dal 1975 fino alla sua morte. Io ho avuto il piacere ed il privilegio di collaborare con lui per parecchie migliaia di ore. Una volta, durante uno dei nostri quotidiani caffè, egli mi disse che io ero il fisico con cui egli aveva collaborato più a lungo. Amaldi mi mostrò la sua amicizia molte volte. Fui ospite nella sua casa al mare, ove mi recavo ad ogni estate insieme a mia moglie Elena. Egli è stato per me un Maestro e un Amico. Amaldi era un ricercatore entusiasta. Proprio il tipo di ricercatore necessario per una ricerca di un fenomeno così elusivo come quello delle onde

gravitazionali. In questi anni, in cui stiamo raccogliendo i frutti del nostro lavoro, sento fortemente la mancanza del suo entusiasmo e della sua determinazione.

Bibliografia

1. A. Bonetti *et al.*, *Il Nuovo Cimento* B, 307 (1968)
2. A. Egidi, G. Pizzella, C. Signorini, *Journ. Geophys. Res.* 74, 2807 (1969)
3. G. Pizzella, Quattro episodi, *Sapere*, Ed. Dedalo, Dicembre 1990.
4. Edoardo Amaldi ha giocato un ruolo importante nella creazione di ESRO, vedi per esempio: Creons une Organization Europeenne pour la Recherche Spatiale, *La Recherche Scientifique*, N. 4, Dicembre 1959, pp 6–8.
5. J. Weber, *General Relativity and Gravitational Waves*, Interscience, New York (1961)
6. R. Ruffini and J. A. Wheeler, Relativistic cosmology and space platforms, *Proc. of ESRO Colloquium*, Interlaken (1969).
7. S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, John Wiley and Sons, Inc. New Kork (1972).
8. G. Pizzella, *Rivista del Nuovo Cimento* 5, 369 (1975).
9. L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *The classical theory of fields*, Pergamon Press, Oxford (1971).
10. Thorne K S 1987, Gravitational Radiation, in Hawking, S. W., and Israel, W., eds., *300 Years of Gravitation*, 330–458, (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom).
11. Amaldi E., Pizzella G. in De Finis, F., ed. 1979. *Relativity, Quanta, and Cosmology in the development of the scientific thought of Albert Einstein*, 1–230, (Johnson Reprint Corp., Academic Press)
12. Blair D. G. ed. 1991. *The Detection of Gravitational Waves*, (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom).
13. a) R. A. Hulse and J. H. Taylor, *Astrophys. J.* 195 (1975) L51; b) J. H. Taylor, J. M. Weisberg, *Astrophysics J.* 253, 908 (1982).
14. M. Aglietta *et al.*, *Nuovo Cim.* C12, 75, 1989

15. G. Pizzella, *Fifth M. Grossman Meeting*, Perth 1988, pag. 125–142. Ed. D. Blair, M. J. Buckingham, Series Ed. R. Ruffini.
16. M. Aglietta *et al.*, *Nuovo Cim.* C14:171–193,1991.
17. M. Aglietta *et al.*, *Nuovo Cim.* B106:1257–1269,1991.
18. G. Pizzella, *Quaderni di Storia della Fisica*, n.7, pag 115–122, Societa' Italiana di Fisica, 2000.
19. P. Astone *et al.*, *Phys. Rev. D.* 47, 362 (1993).
20. P. Astone *et al.*, *Astropart. Phys.*7: 231–243,1997.
21. J. Weber, *Phys. Rev. Lett.* 22, 1320 (1969).
22. P. Astone *et al.*, *Class. Quantum Grav.* 18 (2001).
23. P. Astone *et al.*. *Class. Quantum Grav.* **19** (2002) 5449–5463
24. Pizzella, G. for the ROG Collaboration: 2003 *Tenth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity*, (M. Novello, S. Perez–Bergliaffa, R. Ruffini, Eds.)
25. Pizzella, G. for the ROG Collaboration: *Frontier objects in astrophysics and particle physics*, Vulcano Workshop 2004, Ed. F. Giovannelli and G. Mannoichi
26. Yuriy Barishev e Pekka Teerikorpi, *Discovery of the Cosmic Fractals*, World Scientific, 2002 (In italiano: Boringhieri 2005)

Capitolo 14

Mario Bertino

Mario Bertino è nato a Roma il 10 agosto 1936. Dopo aver conseguito il diploma di perito industriale nel 1955, ha lavorato presso una compagnia petrolifera fino al 1958, anno in cui è stato assunto presso i Laboratori Nazionali di Frascati.

Nel 1959 è stato assunto dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare presso la Facoltà di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza" da Marcello Conversi, con cui ha lavorato fino alla scomparsa di quest'ultimo, avvenuta nel 1988.

Ha proseguito l'attività con Guido De Zorzi e Giordano Diambrini Palazzi occupandosi di calorimetria, fino al 1997, anno in cui ha deciso di dare l'addio alla scienza andando in pensione.

Ha lavorato presso il CERN di Ginevra, al Fermilab, al laboratorio di Saclay e al Paul Scherrer Institute di Willingen (Zurigo), oltre a svolgere la propria attività presso i Laboratori di Frascati, Torino, Padova, Pavia e Pisa.

14.1 Con Marcello Conversi

Nel 1956 ho preso il diploma di perito industriale e per due anni ho lavorato presso una compagnia petrolifera. Nel 1958 sono stato chiamato dai Laboratori di Frascati attraverso Antonio Marra poiché in quel periodo avevano bisogno di un disegnatore per realizzare il progetto di un magnete (magnete a mantello) per la ricerca sui gamma da utilizzare sull'elettrosincrotrone, allora in fase di montaggio. Di tale progetto si occupava il dott. Giordano Diambrini Palazzi. Ultimato questo progetto mi hanno incaricato di occuparmi di un magnete richiesto dal prof. Marcello Conversi (che si trovava

a Pisa) e che doveva servire per la cattura radiativa del mesone μ . Questo magnete consisteva di due magneti gemelli, tali che, accoppiati tra loro, formavano una struttura a forma di H. Durante lo studio di questo magnete, ci sono stati dei contrattempi, e visto che nel frattempo il prof. Conversi si era trasferito a Roma, i miei diretti superiori, Fernando Amman, Giancarlo Sacerdoti e Romano Toschi, mi hanno chiesto di lavorare a Roma, a stretto contatto con lui, che era il diretto interessato, in modo da provvedere al completamento del magnete; in seguito sarei tornato a Frascati. Nel maggio del 1958 arrivai a Roma, dove conobbi i dottori Marco Toller, Alberto Egidi e Luigi Di Lella (allora laureando).

Il prof. Conversi lo conobbi tre o quattro giorni più tardi. Lavoravo sul magnete e contemporaneamente alla realizzazione del modulo sperimentale che doveva adattarsi alla struttura del magnete. L'esperimento consisteva in un contatore ad elio a 100 atmosfere e due contatori a toluolo liquido visti da 4 fototubi 54AVP Philips più altri contatori a scintillazione.

Terminato questo progetto il prof. Conversi mi chiese se volevo restare a lavorare con il suo gruppo, a Roma. Gli feci presente gli accordi presi con Amman, Sacerdoti e Toschi. Mi assicurò che quello non era un problema e che se ne sarebbe interessato personalmente, in quanto erano stati suoi allievi.

Il 1° settembre 1958 iniziai a lavorare nel gruppo del prof. Conversi occupandomi del laboratorio e contemporaneamente studiavo elettronica (il prof. Conversi mi diede il "Millman", allora uno dei testi sacri dell'elettronica). Ci occupavamo della costruzione e dei test del contatore a gas e dei contatori a liquido per i neutroni (figure 14.2 e 14.3).

Finito il 1958, nel marzo del 1959 arrivò dall'America il dott. Carlo Rubbia portando delle idee innovative sulla costruzione di camere a scintilla a piatti sottili. Noi nel frattempo stavamo già studiando una camera a scintilla con piatti da 2 mm in alluminio, in argento e in tungsteno. La camera era comandata da thyratron innescati da un trigger rapido (EFP60) da sostituire al contatore a gas e ai contatori a liquido che si erano rivelati di difficile gestione.

14.2 Ai laboratori del CERN di Ginevra

L'esperimento fu modificato e nei primi mesi del 1960 ci trasferimmo al CERN di Ginevra per la realizzazione. Una volta a Ginevra cominciammo



Figura 14.1: Marcello Conversi durante una conferenza nel 1961. Alla sua destra Niels Bohr e alla sua sinistra Carlo Rubbia (Cortesia Archivio Cern Information Services).

a montare l'esperimento e l'elettronica per la presa dati. A quel tempo l'elettronica era diversa da quella usata attualmente. Era ancora elettronica a valvole, e ognuno se la progettava secondo le proprie esigenze. Rubbia aveva studiato una elettronica *ad hoc*, che consisteva in una coincidenza ottupla che avrebbe semplificato il tutto. Questa coincidenza non ha mai funzionato per cui siamo ritornati al metodo tradizionale.

Il mio lavoro consisteva nel montaggio dell'esperimento, mi occupavo quindi della cablatura, del *plateau* dei contatori, del *timing* degli stessi. Una volta entrati in fase di presa dati si facevano i turni e chi era libero si occupava dello sviluppo dei film e dello *scanning*, per accelerare i tempi. Ricordo che la sera andavamo lì a guardare le foto per due o tre ore e segnalavamo le cose interessanti. In quel periodo si faceva un po' di tutto, senza tanti problemi! Si lavorava sia il sabato che la domenica; tanto poi a Ginevra non c'era niente da fare! Questa era la vita che si faceva lì. Terminato l'esperimento [1] siamo tornati tutti a Roma.

Nel frattempo il prof. Conversi si stava trasferendo a Ginevra e così chiese

chi volesse andare a lavorare con lui. Lo seguirono Luigi Di Lella, Gianni Conforto ed io. Per non gravare sulle spese di Roma mi fecero un contratto CERN per un periodo di due anni. A quell'epoca il prof. Conversi voleva automatizzare otticamente le camere a scintilla. Si trattava quindi di collegare dei righelli ottici in modo da misurare direttamente la posizione della traccia rispetto alla camera. Il progetto non è andato a buon fine, in quanto o si focalizzava sulla traccia – e quindi il righello ottico risultava fuori fuoco – o viceversa.

Dopo varie vicende sono andato a lavorare con Emilio Zavattini e Carlo Rubbia fino al 1964 [2], anno in cui sono ritornato a Roma.

14.3 Il lavoro con Adone

Non avendo praticamente nulla da fare il prof. Conversi mi mandò a Frascati dove stavano progettando Adone, e cominciai a lavorare alle dirette dipendenze del dr. Gianfranco Corazza, da cui successivamente ho appreso la tecnica per incollare a caldo delle finestre sottili in mylar per la realizzazione del piatto di ingresso delle camere a scintilla. A Frascati mi sono occupato di progettare la meccanica e la strumentazione per la misura e la mappatura del campo magnetico del magnete di Adone e del quadrupolo. Insieme al dott. Massimo Placidi andai a Zagabria presso la ditta Rade Končar che costruiva i magneti per eseguire la mappatura e la misura del campo magnetico. Mi sono anche occupato dello studio per il raffreddamento dei magneti che poi è stato acquisito da un ingegnere della Casaccia momentaneamente appoggiato presso i Laboratori di Frascati. L'ultima chicca fu che insieme a Sergio De Simone realizzammo le canalette per il passaggio dei cavi relativi alle singole esperienze e ai servizi di Adone.

Nel 1966 sono tornato a Roma perché il prof. Conversi stava pensando agli esperimenti da poter fare su Adone. Là trovai due nuovi laureandi, Rinaldo Santonico e Tommaso Toffoli. In quel periodo si stavano costruendo le grandi camere a scintilla (1.5×3 m, con piatti da 1 cm a sandwich: alluminio 2 m, ferro 3×2 mm, alluminio 2 mm) incollati tra di loro a caldo con araldite conduttrice in modo da formare una massa omogenea al passaggio della corrente). Le prove sono state fatte a Frascati, dove sono ritornato, insieme a Giovanni Nicoletti.

Stavamo anche montando l'apparato sperimentale nella sala magneti per poi spostarlo nella sala di Adone. Nel corso del montaggio dell'esperimento

il prof. Conversi fece venire da Pisa dei tubi su cui lui e il prof. Gozzini avevano lavorato. Questi tubi erano da 1 cm di diametro, riempiti con varie miscele di gas. Si montò un apparato di test in laboratorio per verificare se ancora funzionavano. Dopo tanti anni abbiamo constatato il buon funzionamento e si pensò di montarli sull'apparato in funzione in Adone costruendone di nuovi. Si cominciò a pensare a tubi lunghi 1 m e 2 m, da 2 cm di diametro. Si studiarono nuove miscele di gas per ottenere più luce, si verniciarono i tubi con vernici diffondenti bianche, su cui veniva sovrapposta una vernice nera conduttrice. Si lavorò sulla forma dell'impulso di comando, si pensò di applicare un campo pulitore, per cercare di ridurre la durata di memoria dei tubi e il loro tempo di recupero, cose che portarono a un risultato effimero. I tubi furono prodotti nei Laboratori di Frascati, dove si effettuarono anche i test.

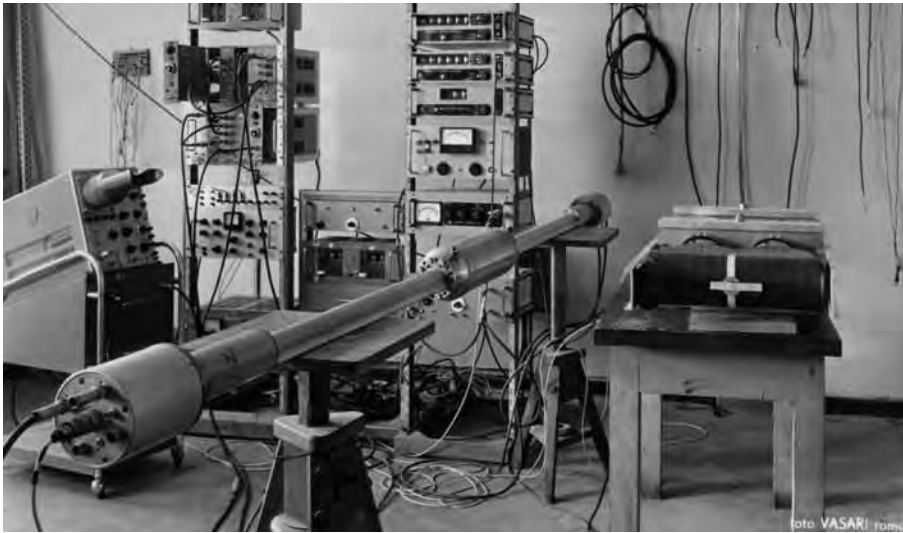


Figura 14.2: Vista del contatore ad elio durante i test in laboratorio.

Alla fine, ottenuti dei risultati positivi, si montarono nell'esperimento. La miscela del gas di riempimento era formata da 75% di elio, 20% di neon e 5% di argon. Il trigger era lo stesso utilizzato per le camere a scintilla, ossia una *spark gap* comandata che permetteva la scarica di un banco di condensatori. Durante la presa dati nell'esperimento sono state apportate



Figura 14.3: Vista del contatore a toluolo durante i test in laboratorio.

varie modifiche. Sono state inserite delle camere a tubi a flash sui due lati dell'esperimento. Inoltre, per migliorare la misura delle tracce, il prof. Luciano Paoluzi aveva pensato di posizionare davanti alla finestra sottile dei contatori a scintillazione di 2 mm di spessore visti da due fotomoltiplicatori. Questi contatori non hanno avuto un gran successo in quanto, considerata la loro posizione, erano troppo affollati. Sono stati quindi sostituiti con delle camere speciali sviluppate da Pedro Waloscsek, che le portò già pronte e funzionanti.

Nel corso di questo esperimento vennero due nuovi laureandi: Filippo Ceradini e Miro Pregher. Pregher si occupò di sviluppare un monitor di luminosità da utilizzare per la macchina. Il monitor era montato ai due lati estremi della ciambella (che nel frattempo era stata modificata) e consisteva in contatori a scintillazione sottili e in un calorimetro a lastre di piombo (scintillatore piombo) che ho realizzato io stesso. Questo monitor di luminosità è stato utilizzato per lungo tempo da Pregher, anche dopo che l'esperimento fu terminato [3]. Filippo Ceradini iniziò ad occuparsi dell'apparato e dell'esperimento. Durante tutto il periodo di funzionamento,

il mio compito, oltre a montare eventuali modifiche, era di mantenere in caldo l'apparato stesso. Terminato l'esperimento sono ritornato a Roma dove nel frattempo era entrato nel gruppo Lorenzo Federici, in qualità di laureando. Si cominciò a studiare la possibilità di mettere a punto delle camere a flash realizzate in lastre di polipropilene da 2×2 o 3×3 mm di alveolo, prodotte dalla Montedison.

Contemporaneamente, a Frascati il dr. Enzo Iarocci e Giovanni Nicoletti stavano sperimentando nuovi rivelatori in Pvc (che divennero noti come tubi o camere di Iarocci). Intanto, a Roma, Santonico stava studiando la realizzazione di grandi contatori (contatori a basso costo) realizzati in bachelite utilizzando varie tecniche e vari prodotti. Prima di arrivare alla produzione standard (industriale) sono passati molti anni. I primi test di questi contatori (1978) sono stati effettuati sotto il tunnel del Gran Sasso per rivelare la radiazione ambiente a roccia nuda, presso il laboratorio di Saclay con il prof. Roland Barloutaud, ed infine nell'esperimento NADIR per l'anticoincidenza [4].

14.4 Al Fermilab

Dopo questa breve parentesi ritorniamo al 1974. A Roma si stavano facendo i test per contatori a scintillazione in metacrilato costruiti a Pomezia dalla Ditta Polivar [5]. I test consistevano nel misurare la lunghezza di attenuazione della luce e nella velocità di risposta rispetto agli scintillatori tradizionali in stirene. Questi scintillatori, ovviamente, costavano molto meno e i risultati ottenuti erano accettabili. L'attività procedeva con la realizzazione di un ricostruttore di vertice che consisteva in una camera a scintilla con gap di 15×2 cm vista da 3 lati. L'ultima piastra era realizzata in rete molto fina e veniva alimentata con una linea di carico. Questa camera doveva essere impiegata nell'esperimento da fare al Fermilab. Le prove di test furono eseguite al CERN creando problemi dovuti all'induzione dovuta al forte campo elettrico applicato. Problemi che furono risolti ponendo la camera dentro una gabbia di Faraday. Questo sistema fu accantonato in quanto il detector di vertice fu fatto dai francesi di Mouluse.

Partimmo quindi nel 1975 per il Fermilab dove rimasi fino al completamento dell'esperimento [6], nel 1977. Il prof. Conversi nel frattempo era ritornato a Ginevra e stava pensando alla seconda fase dell'esperimento americano. Al ritorno dal Fermilab sono andato direttamente a Ginevra



Figura 14.4: M. Bertino e A. Iacoangeli discutono la realizzazione della *Bigap* da utilizzare nell'esperimento da effettuare al Fermilab.

per la realizzazione di questo esperimento. Da Roma erano venuti Santonico, M. L. Ferrer, Guido Ciapetti e Orlando Ciaffoni i quali lavoravano su un progetto per realizzare delle camere a fili da porre davanti alla camera a bolle a idrogeno. L'apparato sperimentale fu montato direttamente a contatto della finestra sottile della camera in un luogo creato appositamente. Sorse il problema di schermare i fotomoltiplicatori dal forte campo magnetico di 3 Tesla. Anche questo problema fu risolto. Si presentarono altri inconvenienti con le camere a fili, che dovevano avere una risoluzione migliore di 2 mm per la ricostruzione del vertice nelle emulsioni nucleari. Anche questo esperimento fu terminato e quindi tornammo tutti a Roma alla fine del 1978.

14.5 L'esperimento NADIR

A Roma, su proposta del prof. Dino Zanello si iniziò una collaborazione con la sezione INFN di Pavia per l'esperimento NADIR da effettuare con un reattore nucleare Trigamark 2. Cominciammo a lavorare su questa proposta

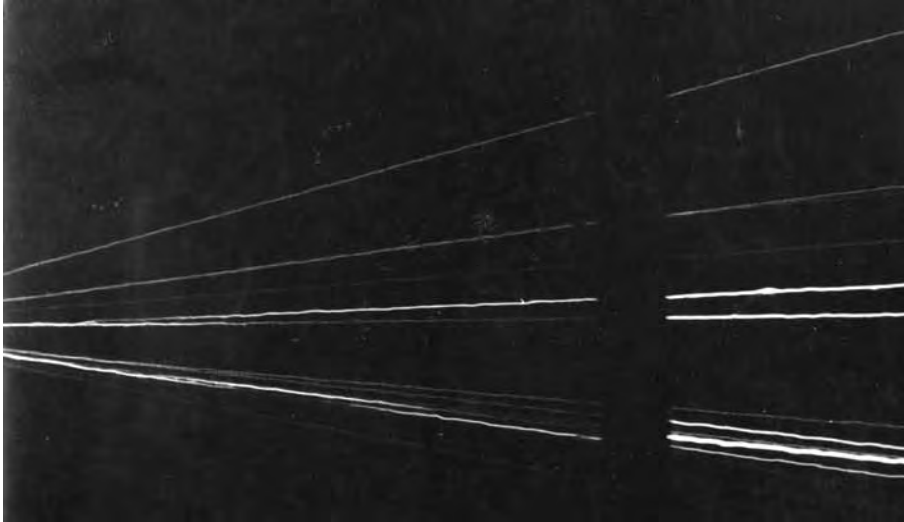


Figura 14.5: Immagine relativa al test della *Bigap* da utilizzare nell'esperimento del Fermilab. Questo tipo di detector funzionava come ricostruttore di vertice consentendo la ricerca del punto di impatto nel pacco di emulsioni nucleari.

e nel 1980 effettuammo i primi test per la misura dei fondi, per valutare il danno ai contatori plastici dovuto ai neutroni del reattore. In questo esperimento furono adoperati i contatori plastici in metacrilato prodotti a Pomezia dalla Polivar di cui in precedenza erano già stati effettuati i test. Furono impiegate per la prima volta le camere a flash in polipropilene sviluppate a Pavia sotto la guida di Fabrizio Massa che per l'occasione si era trasferito in quella città.

Insieme a Fabio Sebastiani costruii il depuratore per il gas neon-elio 20–80 necessario al funzionamento delle camere a flash procedendo poi al montaggio dell'apparato sperimentale. I contatori RPC utilizzati nell'apparato come anticoincidenza furono realizzati a Roma da Attilio Lucci e Alberto Di Biagio con un'attrezzatura molto artigianale. Mi sono occupato anche della costruzione delle Brun line delle camere a flash. Queste erano fatte in casa incollando prima delle strisce di alluminio autoadesivo su un supporto di mylar e avvolgendo il tutto in modo da realizzare una bobina con un polo centrale positivo e due poli laterali negativi isolati dal mylar. La lunghezza era calcolata in modo da inviare sulla camera un impulso rettangolare di altezza, lunghezza e durata note. Queste linee erano comandate da un

thyratron a idrogeno di ultima generazione. A Pavia, dato che i soldi erano pochi, ho progettato l'impianto elettrico della sala esperienze e il controllo di accesso nella sala stessa (controllo copiato dal sistema di accesso alla sala Adone di Frascati). Questo lavoro, compresa la presa dati, è durato fino ai primi anni del 1986 [7].

Tornato a Roma, insieme a Fabrizio Massa mi sono occupato di realizzare al CERN dei test con i contatori RPC, richiesti dal prof. Massimiliano Ferroluzzi. Per una possibile collaborazione su un esperimento da effettuare al CERN non se ne fece nulla. Anche se con altri scopi, questi test sono poi proseguiti alla Casaccia sul reattore nucleare da Fabrizio Massa. Nel 1988 è venuto a mancare il prof. Conversi, così io sono andato a lavorare con il prof. De Zorzi e il prof. Diambri Palazzi.



Figura 14.6: Da sinistra: R. Santonico, G. De Zorzi, A. Pecchi, M. Conversi, M. Bertino, R. Cardarelli. Foto scattata in occasione del settantesimo compleanno di Conversi (1987).

14.6 Il calorimetro a fibre scintillanti

Già in precedenza con il prof. De Zorzi avevamo incominciato a pensare di sviluppare uno studio sul cosiddetto “spaghetti calorimeter”, che era considerato il rivelatore del momento, anche se era già stato realizzato in America. Iniziammo quindi una collaborazione non ufficiale con il dr. Riccardo De Salvo del CERN, che lavorava già su questo progetto. Lo studio consisteva nella realizzazione di prototipi in cui variavano sia la lunghezza (da 1 a 2 metri) sia il numero di fibre scintillanti, in modo d’averne una densità fibre-piombo variabile da utilizzare secondo le necessità.

Erano stati realizzati prototipi con vari diametri di fibre: da 0.2 millimetri fino a un massimo di 2 millimetri. Furono effettuati test al PS con dei nuovi fotomoltiplicatori molto semplici (Hpd) sviluppati dalla Experimental Physics Division. Questi “fotomoltiplicatori” erano composti da un fotocatodo e da un anodo, non avevano dinodi ed erano alimentati da 8.000 a 15.000 Volt. Avevano un guadagno molto basso, da 1.000 a 2.000.

Questo studio era durato circa 1 anno, quindi, quando il prof. Diambrini Palazzi pensò di realizzare un apparato che doveva misurare la luminosità del LEP utilizzando queste tecniche, ho iniziato, con il prof. De Zorzi e prof. Diambrini (più altre persone di Roma), a lavorare su questo progetto. Il lavoro consisteva nello studio e nella successiva realizzazione di un calorimetro a fibre scintillanti da montare alla fine di un tratto rettilineo del LEP [8]. Questo lavoro si è protratto per circa due anni a causa dei molti test fatti (sia in laboratorio sia utilizzando il reattore della Casaccia) sul degrado delle fibre scintillanti e quindi sulla loro perdita di luminosità e attenuazione della luce trasmessa.

Un altro lavoro importante fu fatto sul contenitore di piombo composto da 144 tubi di acciaio annegati in una fusione di piombo. La difficoltà consisteva nel fatto che durante la fusione i tubi non dovevano subire deformazioni e non dovevano crearsi inclusioni di bolle d’aria in modo da rendere non uniforme il calorimetro stesso. I contenitori avevano un volume sensibile di $35 \times (2.52 \times 2.52) \text{ cm}^2$ e contenevano 144 fibre scintillanti. La fusione ha creato molti problemi di natura meccanica che sono stati risolti migliorando lo stampo di fusione, rendendo più fluido il piombo con l’aggiunta di una percentuale di antimONIO e migliorando la meccanica dei tubi. Tutti i moduli sono stati radiografati per verificare l’uniformità della fusione e ogni modulo veniva riempito con 144 fibre scintillanti e veniva visto da un



Figura 14.7: Mario Bertino vicino al calorimetro utilizzato al LEP per la misura della *Bremsstrahlung* singola, esperimento LEP5 CERN/LEPC89-12 e CERN.

singolo fotomoltiplicatore (xp 1911). Il numero complessivo dei moduli era 42. Terminammo nel 1991 [9], ma il lavoro sulle fibre scintillanti continuò ancora con altri test su fibre prodotte in Italia in prospettiva di adoperarle nel progetto che si stava maturando per l'esperimento KLOE da effettuare presso i Laboratori Nazionali di Frascati sulla macchina DAFNE all'epoca in costruzione. Il dr. A. Di Domenico si occupava dello studio delle guide luce da montare sui calorimetri utilizzati per l'esperimento Cloe. Queste guide luce erano diverse da quelle tradizionali in quanto la luce veniva raccolta creando, nella parte finale della guida, un cono di Winston [10] dopo aver simulato programmi di calcolo per l'ottimizzazione del cono stesso. Mi sono occupato della realizzazione dei prototipi e, successivamente, ho seguito la loro realizzazione presso una ditta di Colli (FR). Le guide luce erano circa 5.700. Nel laboratorio di Roma iniziò contemporaneamente la costruzione dei calorimetri necessari alla realizzazione di due tappe dell'esperimento. Il procedimento di costruzione era diverso, in quanto le fibre scintillanti venivano poste e incollate su delle lastre di piombo calandrate

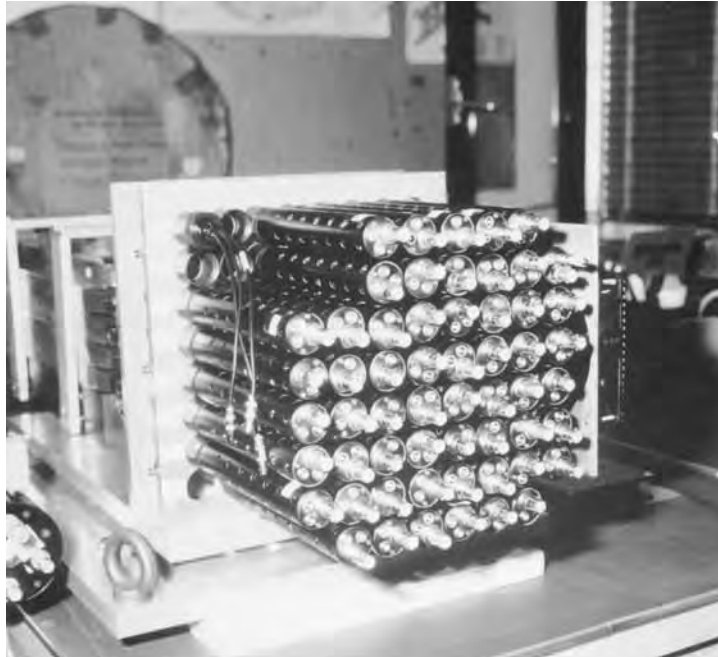


Figura 14.8: Il calorimetro a fibre scintillanti visto dal lato dei fotomoltiplicatori.

e incise. Il tutto doveva essere predisposto e terminato prima che la colla iniziasse a tirare. Una volta terminati, i moduli (prima della lavorazione meccanica) venivano misurati otticamente mediante teodolite, allo scopo di accertarsi della linearità delle fibre. La misura dei prototipi di questi calorimetri è stata fatta al CERN e al PSI di Zurigo.

Durante questo periodo ci fu una piccola collaborazione tra il prof. Dino Zanello e alcuni fisici di Padova, tra cui il dr. Giovanni Carugno, per un esperimento realizzato poi presso il PSI di Zurigo, a cui ho partecipato anche io costruendo gli scintillatori per l'anticoincidenza. Tra un lavoro e l'altro sono stati fatti anche dei piccoli calorimetri per il prof. Guido Barbiellini che intendeva utilizzare in un esperimento da effettuare negli Stati Uniti e da montare su un satellite, per il quale sembrava necessaria la mia presenza. Fino ad oggi non è stato fatto nulla e i calorimetri giacciono nel laboratorio delle alte energia dell'Istituto di Fisica di Roma "La Sapienza". Nel corso di circa 37 anni di lavoro come tecnico di laboratorio non ho lavorato soltanto alle esperienze qui raccontate. Mi sono occupato anche

di vuoto, della realizzazione di incollaggi ottici, incollaggi sotto vuoto, di uno studio su contatori il cui segnale veniva captato sotto forma di impulso elettrico. Ho costruito un contatore a tubi in cui circolava gas elio–neon da montare sulla ciambella di Adone [11], ho fatto degli studi sulle *spark gap* da utilizzare nelle camere a scintilla, ho realizzato camere a scintilla particolari. Nel 1997 sono andato in pensione.

Bibliografia

- [1] G. Conforto, M. Conversi, L. Di Lella, G. Penso, C. Rubbia e M. Toller, Search for Neutrinoless Coherent Nuclear Capture of μ^- Mesons, *Nuovo Cimento* 26, 1962, 261–282.
- [2] G. Conforto, C. Rubbia e E. Zavattini, Direct Measurement of μ^- Mesonic Molecule Formation Rates in Liquid Hydrogen, *Nuovo Cimento* 33, 1964, 1001–1019.
- [3] M. Grilli *et al.*, Multihadron Production in e^+e^- Collision at High Energy, *Nuovo Cimento* A13 (3), 1973, 593–644.
- [4] M. Bertino, R. Cardarelli, L. Di Ciaccio, A. Lucci, R. Santonico, Test of a double resistive Plate Counter Under the Gran Sasso Tunnel, Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma, INFN, *Nota Interna* 788, 25 febbraio 1982.
- [5] M. Bertino, G. De Zorzi, D. Zanello, Test of a Large Size Acrylic Scintillation Counter, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 224, 1984, 568–569.
- [6] E. H. S. Burhop *et al.*, Observation of a likely Example of the Decay of a Charmed Particle produced in a high Energy Neutrino Interaction, *Physics Letters* 65B (3), 1976, 299–304.
- [7] G. Bressi, E. Calligarich, M. Cambiaghi, R. Dolfini, A. Gigli Berzolari, A. Lanza, G. Liguori, F. Mauri, A. Piazzoli, S. P. Ratti, D. Scannicchio, P. Torre, M. Conversi, G. De Zorzi, F. Massa, D. Zanello, R. Cardarelli, R. Santonico, M. Terrani, An Apparatus to Search for Free Neutron–Antineutron Oscillations, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A261, 1987, 449–461.
- [8] C. Bini, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, P. Gauzzi, D. Zanello, Fast Measurement of Luminosity at LEP by detecting the single Bremsstrahlung Photons, CERN–PPE/91–20, 30 gennaio 1991.
- [9] C. Bini, D. De Pedis, G. De Zorzi, G. Diambrini Palazzi, G. Di Cosimo, A. Di Domenico, D. Zanello, The Single Bremsstrahlung Monitor: A Technical Report on the Test Experiment at LEP, CERN/LEPC 89–12, LEPC/I 8 Add. 2, 1/6/1989.
- [10] H. Hinterberger e R. Winston, Efficient Light Coupler for Threshold Čerenkov Counters, *Review of Scientific Instruments* 37, 1966, 1094–1095.
- [11] M. Bertino, M. Conversi, Q. Taccetti, The electrically pulsed Counter, Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma, INFN, *Nota Interna* 552, 19 aprile 1974.

Capitolo 15

Andrea Frova

Nato a Venezia l'11 dicembre 1936, Andrea Frova si è laureato in fisica a Pavia il 30 settembre 1959. Ha conseguito la Libera Docenza in Struttura della Materia nel 1967. Ha fatto ricerca e ha insegnato nelle università di Pavia (1959–62), Messina (1962–63), Modena (1976–78), Roma “La Sapienza” (1967–1976, poi dal 1978 a oggi). Attualmente è titolare della cattedra di Fisica Generale e tiene inoltre corsi di Acustica musicale e Laboratorio di elaborazione del suono. Ha soggiornato all'estero per diversi anni, presso il *Semiconductor Research Laboratory* dell'Università dell'Illinois a Urbana (1963–65), i Laboratori Bell Telephone a Murray Hill, N. J. (1965–67, e poi a più riprese, per un totale di 9 mesi, come consulente), il Politecnico di Losanna (1977–78 e altre volte come visitatore estivo), l'Università di Stoccarda (1972 e 1988, per alcuni mesi), l'Università della California (visitatore estivo nel 1984 a Berkeley e nel 1992 a S. Barbara), l'Università Nazionale Somala (1986 per sei mesi). Altre cariche ricoperte: 1982–85: Vicepresidente, poi Presidente, del Consiglio di Corso di Laurea in Fisica alla “Sapienza”; 1990–94: Coordinatore del Dottorato in Scienza dei Materiali alla “Sapienza”; 1990–96: Vicepresidente del Consiglio Esecutivo della IUPAP. È stato membro della *Board of Editors* delle seguenti riviste: *Solar Energy Materials*, *Semiconductor Science and Technology*, *Semiconductors and Insulators*. È sposato con Mariapiera Marenzana e ha due figlie. Quanto all'attività di ricerca, si è occupato prevalentemente della spettroscopia ottica dei solidi, in particolare dei semiconduttori di interesse nell'optoelettronica, sia nella loro forma di volume, sia di film epitassiale, sia di multistruttura quantica. Nel 1963 ha fatto la prima osservazione sperimentale dell'elettroassorbimento nei semiconduttori, aprendo la strada alla spettroscopia in modulazione di campo elettrico. Con questa tecnica, e con la sua controparte in riflessione, ha studiato e spiegato anche l'effetto elettro-ottico delle perovskiti ferroelettriche e le proprietà eccitoniche e di superficie di diversi semiconduttori.

Si è inoltre occupato di celle solari fotovoltaiche a base di silicio amorfo idrogenato, oltre che del trattamento con idrogeno dei semiconduttori III-V come metodo per la neutralizzazione dei difetti cristallini o per il controllo delle proprietà dei materiali. Ha pubblicato circa 150 lavori scientifici in inglese su riviste internazionali, ha presentato altrettante comunicazioni a congressi internazionali; ha scritto circa trecento articoli di cultura o divulgazione scientifica su quotidiani o riviste. Ha pubblicato un trattato sui semiconduttori e ha contribuito ad altri testi; ha scritto un trattato di acustica musicale e ha pubblicato numerosi libri di divulgazione scientifica sulla fisica dell'osservato quotidiano e sulla percezione visiva e uditiva. È anche autore di alcuni scritti di carattere narrativo.¹

15.1 La scelta della fisica

*Perché non cominci raccontando della tua famiglia, degli stimoli umani e intellettuali che hai avuto dai tuoi genitori?*²

Partiamo allora da luogo e data di nascita: sono nato a Venezia nel 1936 all'ospedale civile, dove mio padre, chimico farmaceutico, era addetto alla farmacia interna. Crebbi a Venezia fino a quando i tedeschi non ci fecero sgombrare perché temevano un attacco dal mare da parte delle forze alleate: obbligarono a partire tutti i civili consentendo di restare a Venezia solo a coloro che vi svolgevano un lavoro. Mio padre rimase a Venezia e il resto della famiglia sfollò nel Friuli, dove vedemmo da vicino la guerra partigiana. Rientrammo a Venezia alla fine della guerra; mio padre aveva intanto assunto il ruolo di chimico presso la cristalleria Toso di Murano. Nel 1947 ci trasferimmo a Cesano Maderno nelle vicinanze di Milano, presso la Snia Viscosa, il colosso del tessile. Abitavamo una casa situata all'interno della fabbrica e per molti anni respirammo odori di gas venefici: non mi stupirei se tanti degli acciacchetti che mi hanno afflitto lungo la vita siano sorti proprio dall'aver respirato dall'età di nove anni all'età di venti o giù di lì queste esalazioni. Di quando in quando si veniva a sapere che qualche operaio addetto ai macchinari, dopo aver respirato per anni tutto quel veleno a pieni polmoni, se ne andava all'altro mondo, cose tremende, cancro, malattie deformanti, intossicazioni polmonari. . . Una volta sistemati in Lombardia, ho frequentato le medie locali e poi a Milano il liceo scientifico Vittorio Veneto: nella Milano industriale il liceo scientifico non era visto

¹Si veda anche:<http://chimera.roma1.infn.it/G29/frova/FrovaHome.html>

²Colloquio avvenuto l'11 ottobre 2005 nello studio di Andrea Frova all'Università di Roma "La Sapienza".

come un liceo di rango inferiore al classico, come altrove in Italia. . . direi anzi che molti ragazzi con inclinazioni tecnico-scientifiche si facevano un vanto di frequentare il Liceo Vittorio Veneto, che a quel tempo era l'unico liceo scientifico di Milano. Quanto a me, non dubitavo che sarebbe stato un errore scegliere un liceo dove insegnassero il greco invece della matematica o altre cose opinabili invece, che so, della metodologia scientifica o di una lingua straniera. Latino a parte, che ho sempre valutato di grande importanza formativa, mi pareva non fosse il caso di esagerare con le dosi di cultura umanistica, anche se sono sempre stato un appassionato del leggere e dello scrivere. Al Vittorio Veneto ebbi come insegnante di matematica e fisica la signora Piera Pinto, che poi si è sposata con un altro fisico, Carlo Salvetti, e che ho ritrovato qui a Roma trenta anni dopo (e la cui figlia si è trovata per puro caso a lavorare nello stesso ambiente di mia figlia). Finito il liceo a Milano si trattava di scegliere una facoltà universitaria: sul fatto che io dovessi frequentare l'università (e così poi i miei due fratelli), nella mia famiglia ci sono sempre stati pochi dubbi. Sul fatto invece che dovesse essere una facoltà scientifica ero io stesso a non averne alcuno. Quello che mi avrebbe interessato di più era la ricerca nell'ambito umano, mi sarebbe piaciuto fare il medico ricercatore, il biologo medico, il genetista. Però mio padre era alquanto avanti negli anni e stava per andare in pensione, poi c'erano due fratelli più piccoli, quindi in famiglia mi fu fortemente raccomandato di scegliere una laurea breve: medicina sarebbero stati sei anni contro i quattro di fisica, e prima di arrivare a prendere uno stipendio ci sarebbero voluti anni di tirocinio. Intervenero amici di famiglia a consigliarmi appunto la fisica, piuttosto che non un'altra laurea scientifica breve: uno scienziato cui debbo in larga misura la scelta fu il noto fisico elettronico Emilio Gatti. Lo frequentavo perché suo suocero – quell'ingegner Semenza che aveva progettato la tragica diga del Vajont – era un amico carissimo di mio padre. Gatti, allora assistente al Politecnico di Milano, mi disse: "Scegli fisica, scegli stato solido, semiconduttori in particolare, perché il futuro è fondato su quei materiali". Nessuna profezia avrebbe potuto essere più centrata di questa. Dovendomi confinare a una laurea breve era d'obbligo tener conto del suggerimento di colui che per me era un grande esperto, oltre che amico di famiglia. Però la fisica mi piaceva, mi piaceva molto, direi non meno della musica (ma c'erano tante altre cose che mi avrebbero potuto appassionare!). Fu così che nel 1955 mi iscrissi a fisica a Pavia, dove avevo ottenuto una borsa del Collegio Borromeo. In sostanza, per quattro

anni ho studiato e vissuto gratis. Verso la fine, prima di prendere la tesi, mi consultai di nuovo con Gatti il quale mi informò: “So che è appena rientrato dagli Stati Uniti un tal Gianfranco Chiarotti, il quale ha lavorato con Frederick Seitz all’Università dell’Illinois e aprirà a Pavia un’attività completamente nuova in fisica dei solidi: cerca di farti dare una tesi da lui”. E così andai a parlare con Chiarotti.



Figura 15.1: Fotografia notturna del loggiato dell’Almo Collegio Borromeo, fondato da S. Carlo nel 1561 e costruito da Pellegrino Tibaldi detto “il Pellegrini”, definito dal Vasari “Palazzo per la Sapienza”.

Chiarotti non era il solo a rientrare dagli Stati Uniti...

Hai ragione, dall’America erano tornati in Italia, e tutti a Pavia, quasi simultaneamente, almeno quattro brillanti ricercatori di quel settore. Uno era Fausto Fumi, un po’ più anziano degli altri, teorico; due erano venuti in parallelo, cioè Giuseppe Franco Bassani e Gianfranco Chiarotti, il primo teorico e il secondo sperimentale, entrambi provenienti dall’Università dell’Illinois a Urbana; l’ultimo in ordine di tempo era Mario Tosi. Questo è il quartetto che posso dire dei miei maestri, cioè di coloro che, sia come laureando, sia come specializzando nell’immediato periodo dopo la laurea, ebbi di fatto come insegnanti, consiglieri o persone con le quali discutere.

Naturalmente c'è una quinta persona cui, non citandolo, farei un torto, ed è il capo di tutti questi nell'Istituto di Fisica A. Volta di Pavia, ossia Luigi Giulotto. Giulotto era il direttore e in qualche modo doveva approvare tutte le scelte scientifiche che si operavano nell'Istituto. È stato anche mio indimenticabile professore di Struttura della Materia, e non solo perché talvolta, durante la lezione, si addormentava in piedi di fronte alla lavagna (o almeno questa era la leggenda, forse si limitava a concentrarsi su quello che doveva dire). La prima tesi sperimentale sui semiconduttori, in Italia, credo fosse proprio la mia, quindi l'inizio di questo genere di ricerche può datarsi attorno al 1958. Chiarotti mi assegnò un problema che gli veniva dall'esperienza americana, cioè lo studio delle superfici dei semiconduttori. Anche qui non si poteva immaginare argomento più significativo giacché le superfici dei semiconduttori sono divenute poi il cuore dei dispositivi stratificati metallo-ossido-semiconduttore, vale a dire i FET, i MOSFET, le memorie MOS e via discorrendo, che sono l'anima dei *chip* nei computer odierni. Per poter realizzare qualcosa dovemmo appoggiarci alla sola industria di semiconduttori esistente in Italia, la SGS. Un'industria che ha una lunga storia: nata italiana, a un dato momento proprietà dell'Olivetti, era stata poi venduta alla Fairchild – non ricordo la successione temporale degli eventi – e alla fine si è associata alla francese Thomson... Tra i fisici della SGS con cui avemmo a che fare ricordo Bolognesi, Forlani, Formigoni, Minnaja.

La vicenda mi è stata raccontata in parte da Gianfranco Chiarotti. Questo gruppo di persone stava aprendo un discorso del tutto nuovo per l'Italia...³

Sì, infatti la compagnia aveva come obiettivo, naturalmente, la produzione di dispositivi a semiconduttore, i primissimi in Italia, quindi il suo apporto principale alla ricerca fu la preparazione e la fornitura dei campioni di semiconduttore.

Mi piacerebbe sentire qualcosa di più sul periodo dei tuoi anni universitari, per esempio chi erano gli altri tuoi insegnanti.

Mi iscrissi a Pavia perché avevo vinto la borsa del collegio universitario Borromeo, altrimenti è probabile che avrei studiato a Milano, visto che i miei genitori avevano casa lì... e la mia vita sarebbe forse stata molto diversa. Ebbi come professori del primo biennio per la fisica Orazio Spec-

³Si veda il colloquio con Gianfranco Chiarotti in *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero* a cura di L. Bonolis e M. G. Melchionni (Marsilio, 2003).

chia, ormai scientificamente inattivo, per le matematiche Silvio Cinquini e Vittorio Emanuele Galafassi, per le chimiche Mario Rolla. Per il secondo biennio, Bruno Bertotti e il quartetto degli “americani” che ho nominato poco sopra, oltre naturalmente al padre di tutti, Luigi Giulotto.

15.2 La tesi sui semiconduttori

Quando ti sei laureato?

La mia laurea è del '59 e merita appunto ricordare che il primo corso di fisica dei semiconduttori al mondo fu insegnato all'Università di Rochester nel '58, se non ricordo male: quindi la tesi che Chiarotti mi assegnò corrisponde al tempo in cui negli Stati Uniti si era appena iniziato a insegnare la materia. In Italia molti non sapevano nemmeno il significato della parola “semiconduttore”! A fare ricerca in fisica dei solidi c'era anche Roberto Fieschi all'università di Milano, e c'erano altre persone, ma credo che, specificamente sui semiconduttori, i veri pionieri in ambito accademico furono proprio Chiarotti sul versante sperimentale e Bassani su quello teorico. Gli “americani” erano molto informati e ben collegati con ottimi laboratori negli USA, ed erano consci del fatto che la tematica dei semiconduttori stava esplodendo a livello mondiale. Ma nessuno di loro, fino allora, aveva fatto esperienza diretta nel ramo. E infatti la mia attività iniziò a partire da un tavolo vuoto: per il mio lavoro di tesi, i primi strumenti furono interamente realizzati in casa! Su suggerimento di Chiarotti costruii il primo *lock-in* – un amplificatore selettivo a sensibilità di fase – uno strumento sofisticato a quel tempo inesistente in commercio. Lo schema costruttivo fu tratto da una pubblicazione del famoso Bloch, quello della risonanza nucleare. Fu una fortuna che Chiarotti avesse fatto la sua tesi con Giulotto, anni prima, proprio su quell'argomento. Lui leggeva articoli che io non frequentavo, e questo gli permise di imbattersi nello schema che mi sottopose. Roba da elettronici, ma a quel tempo i soldi erano pochi e un laureando di fisica doveva imparare a fare un po' tutti i mestieri! Ci lavorammo per due mesi prima che lo strumento funzionasse a dovere. Ma fu uno sforzo premiato, visto che, senza l'impiego del *lock-in*, molta fisica dei solidi sviluppatasi negli anni seguenti – quel tipo di spettroscopia fine che svelava effetti appena percettibili – non sarebbe stata fattibile. È così che abbiamo cominciato. La mia tesi riguardava lo studio della superficie dei semiconduttori: ma attenzione, la superficie del germanio [1], che nel '59 sembrava essere il

semiconduttore più interessante, mentre poi, si sa, è stato del tutto soppiantato dal silicio. Per tre ottimi motivi: uno, perché il silicio si trova nella sabbia, e quindi è disponibile in grande quantità, con bassi costi di estrazione e purificazione. . . Due, perché il silicio, al contrario del germanio, ha un ossido stabile e non solubile in acqua. Questo è il segreto dei MOS – strutture stratificate metallo–ossido–semiconduttore – no? Col germanio si può quindi fabbricare un transistor, ma non un MOS, perché il suo ossido è molto labile, non forma una pellicola. L’ossido di silicio, invece, non è altro che quarzo amorfo, e come tale forma uno strato di materiale resistentissimo! Terzo motivo: i dispositivi al silicio possono lavorare a temperature alquanto più alte di quelli al germanio. Quando ci si rese conto di questa differenza, il silicio fece uno scavalco impressionante! Il germanio passò in seconda linea, destinato ad applicazioni marginali. Anche noi, a un dato punto, ci rivolgemmo al silicio.

Ci sono altri ricordi notevoli della tua vita universitaria, per esempio quella all’interno del Collegio Borromeo?

Era un collegio che imponeva di sostenere tutti gli esami dell’anno entro la sessione di ottobre e di mantenere una media del 27 senza mai però scendere sotto il 24 (voti degli anni ’50, non di adesso!). Naturalmente non si poteva rischiare di perdere il collegio – occorreva pensare alla famiglia! – e quindi si studiava a tutto spiano. Ho sempre considerato questo studio forsennato un aspetto negativo in quegli anni di formazione: ci sarebbero voluti più spazi liberi per leggere e occuparsi di altri argomenti. Il problema valeva anche per gli altri tre collegi pavese, due maschili, il più antico Ghislieri e il recente e meno titolato Cairoli (il Ghislieri e il Borromeo erano i due collegi “classici”, nel senso che esistevano dalla fine del ‘500, erano stati fondati da papi o cardinali, ed avevano sfornato un certo numero di celebrità); e uno femminile, il Castiglioni Brugnatelli, dove ha studiato mia moglie Mariapiera, anch’esso di recente istituzione. Insomma, lo studio duro era veramente un obbligo, quasi una schiavitù! Quando avevamo un momento libero lo dedicavamo allo sport – calcio, tennis, nuoto e canottaggio sul Ticino – perché, dopo aver frequentato lezioni e laboratori, dovevi studiare altre otto–dieci ore al giorno (almeno nei mesi che precedevano gli esami), non vedo come ci si sarebbe potuto dedicare ad altre attività della mente. A parte la musica, per quella lo spazio l’ho sempre trovato. E anche per un po’ di cinema e di letteratura. . . Quando la tesi fu finita, era il 1959, rimasi a lavorare tre anni all’Università di Pavia con incarichi

di insegnamento a scadenza annuale, fino a che Chiarotti, nel 1962, vinse una cattedra di professore ordinario. A quei tempi i vincitori di concorso emigravano sempre in terre lontane, e dunque Chiarotti partì per Messina, proponendo ad alcuni suoi colleghi e collaboratori di andare con lui per aiutarlo a mettere in piedi un'attività in fisica dei solidi, che laggiù era pressoché inesistente. A Pavia, naturalmente, la struttura della materia era ancora in fase di decollo, ma in Sicilia c'era meno ancora! O meglio, c'era una piccola attività di caratterizzazione sui semiconduttori allestita da Daniele Sette e dai suoi collaboratori, i quali erano transitati per quella sede subito prima di Chiarotti. Chiarotti fu seguito a Messina da diverse persone; citandole in ordine sparso, ricordo Andrea Levialdi, Gianfranco Nardelli, Adalberto Balzarotti detto "Camillo", Umberto Maria Grassano, Giovanni Del Signore. Franco Bassani stesso venne a Messina, come vincitore di cattedra, un paio di anni più tardi, e anche Mario Tosi fece il suo turno di emigrato in quella sede. Per bella che sia la Sicilia, a Messina non mi sentivo molto a mio agio... diciamolo chiaro. È difficile per un veneziano, divenuto per metà lombardo, vivere in quel tipo di società: mi sembrava di stare in un paese straniero e arretrato (oggi, mi dicono, le cose sono cambiate, ma allora molti atteggiamenti mentali dei siciliani mi sembravano così stupefacenti...).

15.3 Negli USA da Bardeen e ai *Bell Labs*

Fu così che quando, durante una conferenza in Inghilterra nel 1962, incontrai Paul Handler, braccio destro di John Bardeen, colui che ha vinto per due volte, caso unico nella storia, il premio Nobel per la stessa materia (la prima volta nel 1956 per l'invenzione del transistor insieme a William Shockley e Walter Brattain, la seconda nel 1972 con Leon Cooper e Robert Schrieffer per la teoria della superconduttività) e ricevetti da lui un'offerta a trasferirmi nel loro laboratorio a Urbana, Illinois, andai diritto da Chiarotti e gli dissi: "Caro professore – ci davamo del lei a quel tempo – caro professore, ho ricevuto un'offerta dagli USA, un'offerta che non si può rifiutare! Mi spiace di essere stato qui solo 10 mesi, ma lei sa che ho cercato di fare del mio meglio per avviare le ricerche. Balzarotti e gli altri le porteranno avanti. Il laboratorio dell'Illinois è il primo al mondo a chiamarsi *Semiconductor Research Laboratory*. Sarò testimone dei primi passi di una nuova disciplina. E poi lo dirige Bardeen, come potrei non accettare?".



Figura 15.2: Exeter, 1962, VI International Conference on the Physics of Semiconductors. È il primo importante congresso scientifico cui ho partecipato (con mia moglie Mariapiera Marenzana). Lì ricevetti l'offerta di trasferirmi all'Università dell'Illinois.

Immagino che Chiarotti sia rimasto dispiaciuto, visto che a lui stava a cuore lo sviluppo delle attività in loco...

Diciamo che non la prese troppo bene; però capì che io andavo a Urbana anche per imparare delle cose nuove proprio nel campo che ci interessava, né avevo intenzione di sparire per sempre: sarei tornato con un prezioso bagaglio di esperienze. E infatti così è stato.

Gli stessi Fumi, Chiarotti, Bassani, Tosi, si erano formati lì e, se ricordo bene, anni dopo vi andarono anche Massimo Altarelli e Enrico Gratton.

E molti altri. Quel primo soggiorno negli Stati Uniti durò circa quattro anni, i primi due all'Università dell'Illinois, che per la fisica dello stato solido e per la struttura della materia era forse il massimo tra le università ameri-

cane. Dopo due anni di lavoro all'Illinois passò un reclutatore dei *Bell Labs* di Murray Hill (Laboratori della Bell Telephone), si chiamava Jim Goldey. Ebbi con lui un lungo colloquio. Tornato in sede, mi inviò un'offerta di lavoro. In parallelo ebbi anche un'offerta dalla Xerox, che stava allargando la sua attività dal campo delle fotocopiatrici ad altri settori della fisica della materia; altre offerte vennero dall'università del Massachusetts ad Amherst, dal Naval Research Laboratory in Washington, dalla General Motors a Detroit, e da altre sedi minori. Era dunque, per me, solo una questione di fare la scelta migliore. Misi l'offerta della Bell davanti a ogni altra perché pensavo che prima o poi sarei rientrato in Italia e che la mia permanenza negli Stati Uniti era motivata solo dal desiderio di apprendimento: e i *Bell Labs* erano a quel tempo veramente mitici! Già allora ai *Bell Labs* erano stati conseguiti sei o sette premi Nobel e molti ancora ne sono venuti dopo.



Figura 15.3: Tucson, Arizona, 1972. Modulation Spectroscopy Conference organizzata da Bernard Seraphin. Alcuni tra i pionieri del settore, da sinistra: F. Germano, D. E. Aspnes, Y. Hamakawa, P. Handler, A. Frova, G. F. Bassani.

Qual era stato il bilancio di quei due anni passati a Urbana?

Beh, anzitutto, arrivando dall'Italia, ci fu la scoperta di un altro mondo, dove la vita era così diversa, così più organizzata, più efficiente, più pragmatica, insomma più anglosassone; poi, per quanto riguarda i laboratori. . . qui lavoravamo come morti di fame, là c'erano tutt'altri mezzi a disposizione!

Per non dire di quello che è venuto dopo, ai *Bell Labs*: per ordinare un apparecchio, anche costoso, bastava che alzassi il telefono e in pochi giorni era nelle mie mani; in Italia, tra richieste di finanziamento, analisi di mercato, carte da riempire, attese di vario genere, eccetera eccetera, nella migliore delle ipotesi ci sarebbero voluti un paio d'anni! Terzo aspetto fondamentale, quello dei contenuti scientifici. Con Paul Handler (e in successive collaborazioni con David Aspnes, Claude Pencilina, Yoshihiro Hamakawa) imboccai la strada dell'elettroassorbimento – ossia la variazione delle proprietà di assorbimento della luce da parte di una sostanza sottoposta a campo elettrico – nelle giunzioni $p-n$ dei semiconduttori. Un fenomeno che molti considerano la radice della spettroscopia modulatoria [2, 3, 4, 5].

Tutto in positivo, quindi, nella tua esperienza americana?

Non tutto. Da un certo punto di vista, l'esperienza fatta ai *Bell Labs*, mi ha nuociuto! Perché, quando sono rientrato in Italia mi son detto: "Ma come si può far ricerca qua, quando devi sprecare metà del tuo tempo a riempir carte, fare riunioni, dibattere questo e quest'altro. . . per rimediare alla fine, come avviene spesso, solo una parte del denaro che servirebbe, per cui devi ripartire subito per sopperire al mancante!?" Però dal punto di vista professionale è come hai detto tu, l'avventura americana è stata splendida. Soprattutto perché ho vissuto dall'interno questa grande fase di decollo della fisica dei semiconduttori. Era proprio il momento in cui nascevano i circuiti integrati, i sensori di immagine a CCD (*Charge-Coupled Device*), dispositivi che ho visto pensare e realizzare in stanze adiacenti alla mia, talvolta trovandomi a firmare, come testimone dell'evento, il registro di lavoro dei rispettivi inventori. Il CCD, oggi, ha soppiantato ogni altro dispositivo capace di tradurre un'immagine in segnali elettrici. Il primo prototipo è stato realizzato nel 1966 da George Smith e da Bill Boyle, che erano rispettivamente il mio capo diretto e il capo del mio capo. Oggi anche i profani sanno che cosa è un CCD e a che serve. Senza di esso, l'intero universo del trattamento e della trasmissione delle immagini sarebbe stato impossibile. Niente fotografia elettronica, ad esempio. E che straordinaria sensibilità! Con una telecamera vecchio stile, ossia basata sui fotoconduttori, occorreva tenere i fari puntati sulle persone; le telecamere a CCD permettono di filmare quasi al buio, una lampadinuzza o una candela sono sufficienti. Si trattò di una vera e propria rivoluzione! Nel 1980 circa scrissi un piccolo libro per Editori Riuniti intitolato *La rivoluzione elettronica*, una definizione che in qualche modo è entrata poi nel gergo giornalistico

[6].

15.4 Rientro in Italia

Intanto che io me ne stavo ai *Bell Labs* anni '65-'66, Chiarotti venne chiamato a Roma da Edoardo Amaldi, il quale aveva in mente di ampliare l'attività di struttura della materia, già avviata da Giorgio Careri con esperimenti di superfluidità. Per Amaldi, la ricerca non poteva mancare di una componente di fisica dello stato solido, e in particolare di fisica dei semiconduttori. Poiché la ricerca di Chiarotti doveva aprirsi un varco in una sede largamente dominata dai fisici delle particelle, dagli astrofisici e da teorici di varia specie, egli aveva assoluto bisogno di collaboratori. Cercò quindi di far convergere su Roma più persone possibili. In America c'era un allievo che lavorava ai *Bell Labs*, che era stato testimone di tante attività di punta, che aveva contribuito a sviluppare una nuova disciplina, la spettroscopia modulatoria, partendo da idee nate a Pavia. Ecco insomma come e perché sono arrivato a Roma. Malgrado il fatto che Chiarotti non potesse darmi molte garanzie. Mi disse solo: "Lei deve avere sufficiente coraggio da dimettersi dal posto che occupa e venire qui come assistente con un semplice incarico annuale. . . poi farà un concorso e auguriamoci che riesca a diventare di ruolo". Venni così, più o meno al buio. . . ma per la scienza erano tempi assai migliori di quelli odierni. Era l'inizio del 1967, quasi quattro anni dopo la partenza. Sono poi tornato negli USA per estesi periodi in vesti diverse, ad esempio come visitatore degli stessi *Bell Labs* o dell'Università della California.

Tu pensavi che questo rientro fosse divenuto ormai importante?

In America non mi ci vedevo perché sentivo troppo la mancanza della nostra cultura, del linguaggio, dello stile di vita e dei rapporti interpersonali, perché insomma mi sentivo inguaribilmente europeo. Sarei magari rientrato a Parigi invece che in Italia, penso, ma restare per sempre in America mi sembrava proprio non concepibile. Invece l'idea di venire a vivere a Roma mi era piaciuta moltissimo, perché in passato avevo visitato la città come turista e ne ero rimasto affascinato. Perciò quando Chiarotti mi propose di venirci, seppure senza sicurezza del posto di ruolo, feci fagotto! Fu un rientro motivato quindi soprattutto sul piano culturale ed emotivo, più che professionale. E poi avevo due bambine, e l'idea che crescessero cittadine americane mi dava parecchio fastidio. Mia moglie condivideva in pieno

questi criteri, quindi sul rientro ci siamo trovati subito d'accordo. Arrivai a Roma, in questo ruolo incerto, ma per fortuna qualche mese dopo arrivò il concorso e divenni assistente ordinario, con in più un incarico di insegnamento, insomma una sistemazione decente. Però ricordo che, quando lasciai i *Bell Labs*, Bill Boyle, il capintesta, volle avere un colloquio con me per convincermi a non partire. Esordì dicendo: “Ti posso chiedere quanto guadagnerai a Roma?”. Io gli dissi il doppio di quello che avrei guadagnato davvero, ma era ancora una cifra talmente bassa che lui arrossì per me e mi augurò di avere tanta tanta fortuna! Sapevo che Boyle, e non soltanto lui, mi stava giudicando uno stolido, o quanto meno un inguaribile romantico. In quell'occasione Bill Boyle mi spiegò il meccanismo di avanzamento di carriera ai *Bell Labs*, cosa che non conoscevo se non per vago sentito dire; e cioè che i capi si riuniscono ed espongono i meriti dei rispettivi ricercatori, dopo di che questi vengono collocati in una graduatoria di merito. I dati vengono rappresentati con curve che hanno in ascissa gli anni di anzianità e in ordinata il merito. Le curve erano ben otto, si chiamavano mi pare *octiles*. . . . Questi *octiles* avevano diversa pendenza di crescita e diversi livelli di saturazione, e dal più alto al più basso c'era una bella differenza. Quindi stando sui vari *octiles* si avevano progressioni di carriera differenti, più o meno lente o rapide. Una persona che si trovava su un basso *octile* aveva degli incrementi annuali di stipendio o di carriera molto modesti, che presto si fermavano. Tutto era segreto, ma a posteriori la gente poteva intuire il retroscena. Bill Boyle mi mostrò i grafici e mi disse: “Guarda, visto che parti, posso svelarti. . .”, e io ebbi modo di scoprire che ero piazzato piuttosto bene, il che non mi dispiacque, non sarei andato via come un perdente. Anche se è doveroso dire che lì non era difficile, per uno che avesse una buona formazione europea, salire in alto abbastanza velocemente.

15.5 La spettroscopia modulatoria

Per quanto riguarda il rientro in Italia, va sottolineato un aspetto positivo che riguarda i contenuti. E cioè che qui, grazie a Chiarotti e ai suoi allievi – ricorderò anche Giorgio Samoggia, che non ho ancora citato – aveva visto la luce la spettroscopia modulatoria. Essa permetteva, di uno spettro ottico, di misurare a tutti gli effetti la derivata anziché la funzione assoluta. Tu sai bene che una variazione pressoché impercettibile nella pendenza di una curva può darti nella derivata un vistoso segnale. Oggi con i computer si

è in grado ovviamente di evidenziare effetti microscopici, ma a quel tempo si lavorava registrando gli spettri su carta, e l'occhio, inutile dirlo, ha le sue limitazioni. . . Il lavoro era in corso a Roma, ma i primi passi essenziali erano stati fatti già a Pavia, e sviluppati poi a Messina, ancor prima che io partissi per gli USA.

Come è nata e come si è sviluppata la spettroscopia modulatoria?

Di questo argomento effettivamente ho detto poco o nulla, ma per l'importanza che ha avuto negli anni '60-'80 merita tornarci. A Pavia Gianfranco Chiarotti aveva suggerito – idea sua originale, benché casualmente parallela a una analogia dell'americano Jim Harrick – di studiare gli stati di superficie dei semiconduttori modulando con un campo elettrico il loro stato di occupazione elettronica (in sostanza applicando quello che in seguito, nella dispositiviistica dei MOS e dei FET, si chiamerà *field effect*, ossia “effetto di campo”) e misurando le conseguenti variazioni nell'assorbimento ottico [7]. Uno dei motivi per cui Paul Handler e John Bardeen mi vollero in America era che questo genere di spettroscopia li colpì moltissimo. Bardeen disse: “È una tecnica che può portare a grandi risultati”. In America l'applicai a problemi diversi – ho già menzionato l'elettroassorbimento in germanio e silicio – ed essa andò incontro a un grande sviluppo, grazie anche all'entrata in lizza di Manuel Cardona, fisico abilissimo e molto fantasioso, che estese il metodo alla elettromodulazione della riflessione. Insomma, nata a Pavia dall'idea embrionale di Chiarotti, la spettroscopia modulatoria divenne la tecnica di punta e invase quasi tutta l'attività della fisica dei solidi negli anni '60-'80. Con quel metodo, a Roma facemmo esperimenti pionieristici in svariate direzioni. Vi parteciparono vari colleghi: da Umberto Maria Grassano a Adalberto Balzarotti, da Mario Capizzi a Florestano Evangelisti, da Renzo Rosei a Stefano Nannarone, e poi Piero Migliorato, Paolo Perfetti, Piero Chiaradia, Fulvia Patella, Margherita Zanini, Silvio Modesti, Paolo Fiorini, Guglielmo Fortunato, Carlo Coluzza e altri via via più giovani negli anni a seguire. Chiarotti riuscì a far chiamare a Roma anche i teorici Bassani e Tosi, il primo dei quali formò dei giovani di primissimo livello – Massimo Altarelli, Alfonso Baldereschi, Erio Tosatti – con i quali, oltre che con Bassani stesso, noi semiconduttoriisti avemmo buone occasioni di interazione. Fino al momento in cui, malauguratamente, Bassani se ne andò a dirigere la Scuola Normale di Pisa e i suoi allievi si sparpagliarono altrove, chi in Svizzera, chi a Trieste, chi a Grenoble (anche lo stesso Tosi emigrò a Trieste dopo brevissimo tempo). L'insieme di queste persone,

teorici e sperimentali, costituì, nel dipartimento, il Gruppo 15, o semplicemente G15, sigla destinata a divenire un punto di riferimento nel circolo degli studiosi di scienza dei materiali in area romana. Capizzi, Evangelisti ed io ci dedicammo agli spettri eccitonici e ai plasmi elettrone-lacuna in germanio, silicio e in film epitassiali di semiconduttori del gruppo III-V (quelli che trovano impiego come emettitori di luce LED e laser),⁴ in un secondo tempo di materiali ferroelettrici,⁵ Rosei si dedicò ai metalli, Nannarone e Chiaradia, direttamente collegati a Chiarotti, spinsero i metodi di studio delle superfici dei semiconduttori a livelli sempre più sofisticati, Grassano affinò il suo precedente lavoro nei centri di colore negli alogenuri alcalini. Nacquero tutta una serie di tecniche che, a seconda del parametro modulato, presero i nomi di piezomodulazione, elettroriflettanza, elettroassorbimento, termoriflettanza, modulazione di lunghezza d'onda. Se una qualsiasi variabile del sistema poteva essere modulata, lo spettro ottico si presentava assai più ricco di informazioni.

15.6 Celle solari e nanostrutture

Una quindicina di anni più tardi, con Evangelisti, spostai l'attenzione sull'energia solare, occupandomi di celle fotovoltaiche a basso costo, quelle fatte con materiali poveri, tipo il silicio amorfo idrogenato (i costi delle celle basate sul silicio cristallino erano proibitivi in quanto con lo stesso *wafer* che serve per costruire una sola cella si possono fabbricare – e vendere! – centinaia di memorie e microprocessori per computer). Il silicio amorfo si poteva produrre qui nel nostro laboratorio in modo molto più semplice ed economico di quello cristallino, bastavano alcuni tubi di vetro e qualche bombola di gas.

Quale è stata l'occasione per spostarti su questo particolare settore?

Ci fu un episodio molto preciso. Il CNR lanciò un progetto finalizzato sull'energia, di cui una parte riguardava l'energia solare, e all'interno di questa c'era una sezione rivolta all'energia fotovoltaica. Proprio a quel tempo – erano gli anni '79-'80 – nasceva la seconda università di Roma, quella di Tor Vergata, e Chiarotti con Grassano, Balzarotti, Chiaradia, il teorico Rodolfo Del Sole, più qualche altro, vi si trasferirono, portando seco una

⁴Mi riferisco ai principali lavori che portano il mio nome [8, 9, 10, 11, 12].

⁵I principali lavori a cui ho collaborato sono in bibliografia dal [13] al [27].

discreta fetta della strumentazione del laboratorio. Fu allora che io divenni responsabile del gruppo G15, al quale affluirono altri colleghi già a livello di professori, come Antonio Bianconi e Rosario Cantelli, interessati però a ricerche diverse dai semiconduttori. La prima cosa di cui ci preoccupammo fu di rimpolpare la strumentazione del gruppo; la prospettiva di entrare in un progetto importante, di evidente interesse per il paese, sembrò uno dei modi per rafforzare le nostre strutture e ravvivare gli interessi. A quel tempo sembrava certo che ci fossero possibilità di migliorare di molto la performance di queste celle di silicio amorfo idrogenato a basso costo, ma così non è stato perché i materiali non cristallini hanno strutture molto difettate che abbassano il livello di *performance*, e inoltre mostrano la tendenza a variare nel tempo: una cella fotovoltaica a base di amorfo può funzionare benino appena costruita, ma in pochi anni si deteriora. Questo non avviene con le celle al silicio cristallino, e nemmeno con quelle un po' meno pregiate a base di silicio policristallino, come quella che vedi nel grande orologio-sveglia a energia solare che sta sulla mia scrivania. Il silicio amorfo ha finito per essere usato solo in piccole applicazioni, tipo orologi da polso alimentati ad energia solare, o giocattolini, anche se a dire il vero in Giappone ho visto edifici che hanno i vetri delle finestre letteralmente ricoperti da film di silicio amorfo. Lo scopo in quel caso è duplice: da un lato ridurre l'intensità della luce e quindi attenuare l'effetto serra all'interno delle case; dall'altro, fornire una piccola quantità di energia elettrica che va ad implementare quella di rete. In conclusione, malgrado l'enorme sforzo che si è fatto in questo settore a livello mondiale, i risultati dell'amorfo hanno deluso le aspettative. Siamo andati avanti per una dozzina d'anni, producendo un discreto numero di lavori.⁶

Di che cosa ti sei occupato successivamente?

Negli anni dopo il '90 è esploso lo straordinario settore delle nanotecnologie e dei nanodispositivi. Interessante su due fronti: da una parte le esigenze dell'informatica di realizzare microprocessori o micromemorie (nanoprocessori si dovrebbe dire, perché ormai le dimensioni andavano già sotto il micron); dall'altra gli aspetti fondamentali della fisica mesoscopica, ossia al limite in cui le dimensioni del materiale diventano confrontabili con quelle degli elettroni che vi circolano, aspetti ancora insondati. Proprio a quel tempo nacque la terza università di Roma ed Evangelisti vi si trasferì: decidemmo allora di evitare i doppioni e di dividerci i compiti.

⁶Alcuni lavori di cui sono coautore sono elencati dal [28] al [33].



Figura 15.4: 1989: Andrea e Mariapiera Frova ospiti di Zhorès Alferov, direttore dell'Istituto Yoffe, nella sua dacia di Komarova a sud di S. Pietroburgo. Nel 2000 Alferov consegue il Nobel per le superstrutture a semiconduttore.

Cioè lui avrebbe portato avanti il lavoro sugli amorfi nella nuova sede, dove occorreva realizzare qualcosa in tempi brevi, ciò che era possibile se si utilizzavano apparecchiature e competenze già disponibili (il che implicò per il nostro laboratorio una seconda spoliatura di attrezzature, dalla quale non ci siamo mai ripresi). Capizzi ed io, invece, partendo dalla nostra ormai consolidata familiarità con la fotoluminescenza dei film epitassiali di semiconduttori III-V,⁷ qui nella vecchia “Sapienza” ci saremmo mossi su una linea praticamente nuova, cioè l'emissione di luce da parte di strutture III-V di dimensioni ultrananoscopiche, in particolare i cosiddetti punti quantici (*quantum dots*). In questo campo ci siamo trovati a dover competere con tanti gruppi accademici e industriali nel mondo, operanti in condizioni di lavoro assai meno ardue e precarie delle nostre: scarso o nessun aiuto tecnico, strumenti spesso obsoleti o rattoppati, denaro pro-capite almeno cinque volte inferiore alla media dei paesi industrializzati (non si può escludere che parte di colpa sia mia e dei miei fedeli collaboratori, poco abili nell'arte di

⁷I lavori sui semiconduttori epitassiali del gruppo III-V sono in grande numero. Tra quelli di cui sono coautore cito soltanto i principali che vanno dal [34] al [56].

rimediare fondi). Eppure si è avuto qualche buon risultato, ad esempio l'osservazione, in certe leghe a semiconduttore, di drastici cambiamenti di proprietà indotte dal bombardamento con idrogeno (emissione di luce diversamente colorata).⁸ Mi chiederai come è stato possibile. Lo è stato perché noi italiani abbiamo la capacità di sopperire alle carenze con una grande intensità lavorativa. Può sembrare un'idea strana, la mia, ma faccio il confronto non solo con le varie sedi degli Stati Uniti dove ho lavorato, ma anche con laboratori svizzeri e tedeschi, dove ho soggiornato a più riprese. Non c'è nessun dubbio, gli italiani che lavorano, lavorano per davvero. Magari poi per ognuno di loro. . . ce ne sono tre che non fanno niente! Così ci siamo trovati a fare ricerca su un terreno di punta con mezzi essenzialmente inadeguati. Per fortuna avevamo forti legami con eccellenti laboratori stranieri, sia di fisica sia di chimica, il che ci ha permesso di sopravvivere, ad esempio di reperire i sofisticati nanomateriali oggetto della ricerca, che qui alla "Sapienza" non si sarebbero mai potuti realizzare. Ma, come ho detto prima, l'esperienza ai *Bell Labs* mi ha irrimediabilmente viziato. Così queste difficili condizioni di lavoro hanno finito per spegnere gradualmente il mio interesse, per non dire quel poco d'entusiasmo che mi restava. Fatica a racimolare i quattrini (sempre parecchio al di sotto delle necessità), mancanza di ricercatori su cui poter fare affidamento, compiti da tecnologi di mestiere assegnati a inesperti studenti, con rischi vari. . . E allora un po' alla volta mi sono disamorato della ricerca e ho incominciato a fare dell'altro: scrivere libri di divulgazione scientifica, attività colpevolmente trascurata in Italia dagli scienziati [73, 74, 75, 76], interessarmi ai risvolti scientifici della musica [77], leggermi a fondo Galileo e cercare di diffonderne il verbo [78, 79], e cose simili. La nanofisica è rimasta affidata alle mani preziose di Mario Capizzi e di Antonio Polimeni, l'unico ricercatore di ruolo che negli ultimi dieci anni siamo riusciti ad acquisire al laboratorio semiconduttori (svuotatosi per il fatto che i "vecchi" sono diventati tutti direttori o professori in altre sedi). Ho fatto queste scelte anche perché ritengo che nella vita non si possa darsi a un unico mestiere, al massimo cambiando argomento all'interno dello stesso: qualche volta occorre davvero azzerare tutto e ripartire in una nuova direzione. Ed è ciò che ho deciso di fare in questi ultimi anni e in quelli a venire. . .

Tornando alle vostre scelte, direi che queste ricerche sulle celle solari, così

⁸I principali lavori sulle strutture quantiche di cui sono coautore sono elencati in bibliografia dal [57] al [72].

come quelle sui nanomateriali, siano di grande interesse per l'industria: mi chiedo se avevate stabilito delle connessioni con il mondo produttivo.

Domanda inevitabile! Connessioni con l'industria italiana quasi assenti, presenti invece quelle con alcune industrie straniere nell'ambito di progetti CEE. L'industria italiana non è mai stata interessata a ricerche che non diano risultati a breve scadenza, quel tipo di ricerche che in USA vengono dette *development*, "di sviluppo". Un caso emblematico: quando giunsi a Roma nel 1967, di ritorno dai *Bell Labs*, scopersi che alla Selenia di Roma c'era un tale dottor Genta (di cui non ricordo il nome proprio), persona modesta e intelligente, che aveva messo a punto celle solari al silicio cristallino di ottima efficienza, fra le prime al mondo! Se ne facevano già in industrie americane tipo Texas Instruments, e i giapponesi cominciavano a metterci il dito. Eppure l'attività di Genta fu chiusa, fu azzerato un *know-how* che solo pochi anni dopo avrebbe fatto faville. Da noi si è tornati sull'energia solare solo quando negli USA, durante la crisi della benzina – il famoso periodo di *austerity* degli anni '70 – si decise di fondare un *Department of Energy* e in Colorado fu costruito il SERI, un istituto che è una vera e propria città dell'energia solare. Vedendo che gli Stati Uniti stavano investendo somme enormi in quella direzione, si pensò che l'Italia, paese del sole, non potesse permettersi di restar fuori dal campo. E fu allora che il CNR varò il progetto finalizzato sull'energia di cui ho già parlato, mettendoci un po' di soldini. Questo avveniva, come ho già avuto modo di dire, intorno agli anni '80. E fu solo grazie a questa fonte di finanziamento speciale che con Evangelisti potei avviare il progetto sulle celle a silicio amorfo. Non avrebbe avuto alcun senso, in un'università, avventurarsi sulle celle monocristalline, tipica attività che richiedeva mezzi industriali, con tecnologie complesse e costose, e che era comunque povera di contenuti conoscitivi. Celle fotovoltaiche con vasti contenuti di ricerca scientifica, benché non prive di forti elementi di incertezza circa gli esiti, ci sembrarono una scelta più adatta a un ambiente accademico. E abbiamo avuto un certo numero di risultati validi, intendiamoci, non peggio di altri gruppi nel mondo! Come ho già anticipato, era proprio il materiale che alla lunga ha rivelato delle imperfezioni intrinseche che stabilivano un preciso, insormontabile limite alla sua efficienza di conversione, tale da renderlo nettamente inferiore al silicio cristallino. In mezzo alle varie attività descritte, ci sono stati alcuni episodi nella mia vita che mi piace ricordare. Per esempio, ho mantenuto per anni una stretta collaborazione con il Politecnico Federale di Losanna,

iniziata quando mi accadde nel '77 di sostituire nelle sue funzioni il professor Immanuel Mooser, direttore del laboratorio di fisica applicata, che si era trasferito in Brasile per un anno di congedo sabbatico.



Figura 15.5: Roma 1995. In occasione della *Laurea Honoris Causa* a Manuel Cardona si ritrova la vecchia “squadra di Pavia”: da sinistra U. M. Grassano, A. Frova, G. Chiarotti, A. Balzarotti, A. Stella.

I soldi lì erano tanti, quindi non mi fu difficile avviare delle nuove attività, ad esempio allestire una ricca apparecchiatura di fotoluminescenza con cui studiare il problema delle emissioni di luce da parte di semiconduttori lamellari III–VI fortemente eccitati, sottoposti cioè a fasci di luce laser di altissima potenza e brevissima durata [80, 81, 82]. Anche in quel settore, nel giro di qualche anno la problematica assunse primaria importanza per le sue implicazioni nell’ambito dei laser a semiconduttore e della trasmissione su veicolo ottico.

15.7 La scienza dei materiali

Puoi dirmi qualcosa di più della ricerca nel campo della scienza dei materiali, una disciplina in certo senso caratteristica dell'epoca in cui viviamo...

La ricerca di base nel settore dei materiali si presta molto ai laboratori che hanno mezzi limitati e conseguentemente una dinamica rallentata. Essa permette di passare abbastanza facilmente da un materiale all'altro e di intervenire tempestivamente se si hanno nuovi sviluppi sulla scena internazionale. In inglese si dice *"to jump into the bandwagon"*, ossia saltare a bordo nel carrozzone del pioniere sperando di rimediare anche tu la tua parte di oro. È un settore della fisica dove c'è posto per molte competenze: ingegneri, chimici e fisici che si adoprano per ottimizzare i materiali, sia con la pratica sia con modelli teorici; ma c'è anche l'aspetto della caratterizzazione e dello studio delle proprietà fondamentali, tipico compito di fisici operanti in un dipartimento culturalmente raffinato. Ad esempio, tutti i fenomeni di quantizzazione delle proprietà che sono legate alla nanoscopicità è fisica di alto livello. Bastano a testimoniarlo i Nobel assegnati in questi ultimi anni: a Horst Störmer, per esempio, sull'effetto Hall quantico frazionario, ossia con stati quantici contrassegnati da numeri frazionari, effetto che si presenta vicino allo zero assoluto con nanomateriali dove il confinamento degli elettroni è talmente elevato che la loro lunghezza d'onda supera le dimensioni dello stesso materiale. Oggi si arriva addirittura a produrre transistor dove il trasporto della corrente elettrica è affidato a un solo elettrone per volta! Se ci pensi, fa una certa impressione. Nell'effetto studiato da Störmer, ad esempio, una delle prime ipotesi, poi smentita dai fatti, fu che i numeri quantici frazionari derivassero dalla possibilità di suddividere la carica dell'elettrone, che so, $1/3$ di qua e $2/3$ di là. Roba da mettere la fisica sottosopra! Un'importante problematica cui invece ho deciso di rimanere estraneo è stata quella dei superconduttori ad alta temperatura di transizione. Troppi frequentatori! All'indomani della scoperta annunciata da Karl Alex Müller nel 1986, che gli valse il Nobel, qualcosa come 5000 fisici nel mondo si convertirono alla tematica. Abbandonati *overnight* semiconduttori, ferroelettrici, centri di colore, amorfi o quello che vuoi, si buttarono a corpo morto nella superconduttività ad alta temperatura. Fenomeno emblematico. Lo stesso Mario Capizzi vi ha lavorato marginalmente in collaborazione con Paolo Calvani. Ma il suo interesse principale è rimasto sempre rivolto alle strutture quantiche, argomento affascinante: ti

fanno vedere la meccanica quantistica al lavoro, perché prendi un elettrone e lo metti in una scatola, che è il nanosemiconduttore. Lo fai realmente! Qui a Roma, stranamente, queste ricerche non hanno avuto molta rispondenza. . . Circa altri miei esperimenti, nel mio curriculum in rete sono elencati i principali risultati scientifici da me conseguiti. Ad esempio la prima misura sperimentale dell'effetto Franz-Keldysh, fatta per elettroassorbimento in una giunzione $p-n$ di germanio, che aprì la porta, come ho già raccontato, alla spettroscopia modulatoria. Poi la spiegazione dell'effetto Pockels nelle perovskiti ferroelettriche, fatta insieme a Philip Boddy e a Yen-Sun Chen (rotazione del piano di polarizzazione della luce tramite campo elettrico), effetto base nella trasmissione su fascio laser per imprimere l'informazione sul raggio luminoso [83, 84, 85]. La comunicazione tramite fibre ottiche è interamente fondata su un laser a semiconduttore III-V per l'emissione del fascio luminoso che agisce da veicolo, su un modulatore Pockels o simile che traduca i segnali elettrici da trasmettere in impulsi "scritti" sul fascio laser, e infine all'altro capo un rivelatore, anche questo a semiconduttore (tipicamente un fotodiode), che opera la riconversione in segnale elettrico. Ti ho fatto solo due esempi, ma ci sono vari altri risultati, grazie al fatto che tutti noi qui abbiamo sempre mantenuto vive le collaborazioni con gruppi stranieri. In Italia, nel nostro ambito, non puoi farne a meno, poiché già l'approvvigionamento dei materiali artificialmente strutturati ti obbliga a interagire con laboratori adeguatamente attrezzati alla loro produzione. E dal punto di vista teorico ci siamo sempre dovuti appoggiare a gruppi esterni, perché all'interno del nostro dipartimento raramente abbiamo trovato aiuto: per una tradizione tipica della cultura scientifica italiana molti nostri teorici sono alquanto remoti dalla fenomenologia, almeno per quanto riguarda la fisica della materia. Diverso è il caso della fisica delle particelle, dove l'avanzamento delle conoscenze teoriche e sperimentali è un tutt'uno, è qualcosa di corale. Ma nella fisica della materia condensata, dove ogni ricerca è circoscritta a uno o pochi individui, l'incontro tra osservazioni sperimentali e proposte di modelli teorici è relativamente occasionale.

15.8 Italia, paese in via di de-sviluppo

Dopo aver lavorato all'Illinois, ai *Bell Labs*, a Berkeley, ho toccato con mano la differenza tra approccio anglosassone e approccio italiano. Ai *Bell Labs*, quando si presentava un effetto sperimentale interessante, lo si met-

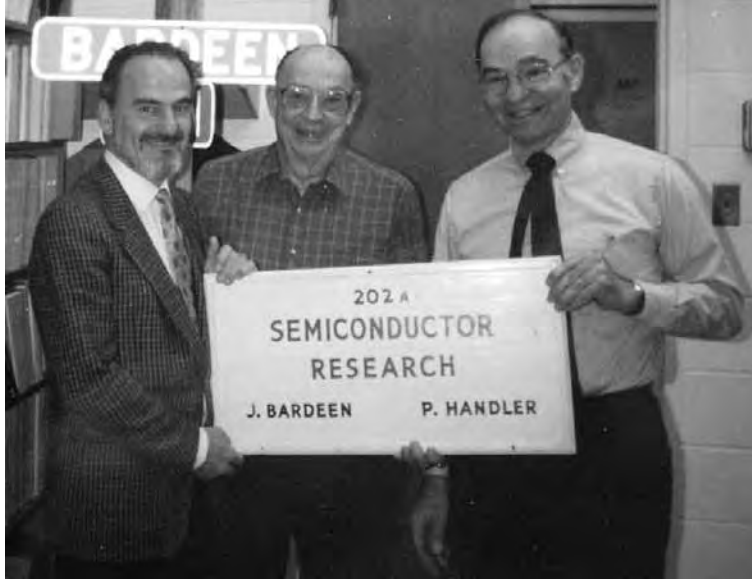


Figura 15.6: Andrea Frova (a sinistra) in visita a John Bardeen nel 1990, un anno prima della morte di quest'ultimo. A destra Paul Handler. Il cartello è quello che pendeva, all'epoca, sopra la porta d'ingresso del laboratorio.

teva subito nelle mani di qualche teorico, il quale ci pensava, ne discuteva con i colleghi, poi ti telefonava e ti diceva: “Avrei un’idea su che cosa stai misurando!”. Ci si tiene in stretto contatto, ci si consulta man mano che l’esperimento avanza e spesso è proprio un teorico che ti dà l’imboccata giusta per evitare misure inutili. Qui a Roma, dopo la partenza di Bassani e dei suoi (molto “americani” di impostazione e quindi attenti al nostro lavoro), in tanti anni non è mai accaduto che un nostro risultato sperimentale fosse analizzato e interpretato dai teorici locali (un’eccezione: Carlo Presilla, quando sviluppò per noi la teoria del tunneling verso stati di superficie [86, 87]). Tutto ciò spiega perché i nostri teorici siano difficilmente in grado di capire le diverse esigenze degli sperimentali: non guardando mai in quella direzione, non hanno elementi di giudizio. Un punto, questo, dove non siamo mai riusciti a farci comprendere.

E da che cosa nasce, secondo te, questa differenza tra l’Italia e altre comunità scientifiche?

La divaricazione tra attività sperimentale e attività teorica è molto tipica

dei paesi mediterranei, dove si hanno più forti tradizioni di dogmatismo, umanesimo, retorica. Nei paesi più pragmatici, come quelli anglosassoni e in certa misura anche la Francia, c'è molta più connessione tra gli aspetti matematici e concettuali da un lato e la verifica sperimentale dall'altro: alla maniera di Galileo, per intenderci. Sembra impossibile che Galileo sia stato uno dei nostri! Per lui era inconcepibile che un fisico facesse un'osservazione sperimentale e non fosse poi in grado di trovarne una spiegazione in termini logici e matematici, così da poter progettare futuri esperimenti con maggior cognizione di causa. Oggi invece: compartimenti stagni, uno o fa teoria o fa misure, al più si mette in piedi una collaborazione. Il fisico "completo", come fu anche Fermi, è rarissimo. Non così nel mondo anglosassone, dove lo sperimentale è in media concettualmente più "colto" che da noi, e il teorico alquanto più "pratico" e legato alla fenomenologia. E dove, ciò che più conta, i due ruoli godono di eguale dignità e i gruppi sono misti – teorici e sperimentali insieme – l'elemento associante essendo il soggetto di studio. Devo naturalmente ammettere che, per un teorico, interagire con gli sperimentali italiani non è particolarmente eccitante. Le precarie e vischiose condizioni di lavoro fanno sì che risultati al livello di quelli che escono dai *Bell Labs*, dall'IBM, dal MIT o da tanti altri laboratori sono relativamente rari. Ciò non toglie che ogni tanto arrivi la misura brillante: soltanto qualche anno fa Mario Capizzi, ad esempio, sulla passivazione per idrogenazione dell'effetto dell'azoto nei nitruri diluiti [88, 89, 90] ha avuto la bellezza di quattro o cinque *invited talks* a grandi conferenze internazionali. Però qua dentro la vicenda è passata quasi inosservata. . . Perché: perché domina la cultura della fisica teorica con le iniziali maiuscole. . . la scienza dei materiali rimane ai margini. Anche per questo mi sono un po' allontanato dal lavoro di laboratorio e cerco di rivolgermi ad attività personalmente più gratificanti.

Vuoi dire in sostanza che diventa sempre più difficile mantenere in piedi una buona scuola di sperimentali all'interno del dipartimento?

Fuori dubbio, stiamo andando a passi rapidi verso la cosiddetta indianizzazione della scienza: nel giro di alcuni anni nel campo della fisica della materia condensata saranno tutti teorici, gli sperimentali scompariranno o scenderanno comunque di tono. Anche perché gli studenti migliori, rendendosi conto della difficile situazione finanziaria e degli scarsi sbocchi, per le loro tesi si rivolgono alla componente teorica del dipartimento: tesi più rapide, meno rischiose, e prospettive di borse e di successive sistemazioni

alquanto meno traballanti. È un meccanismo tipico dei paesi a sviluppo rallentato. Poiché le intelligenze non mancano, si fa della buona fisica teorica, che costa assai meno di una moderna apparecchiatura sperimentale. E le cose vanno peggiorando: più la tecnologia diventa sofisticata, meno si può fare della ricerca a livello culinario, chiamiamola così, del tipo cioè che era la norma ai tempi della mia laurea, quando ci fabbricavamo i pezzi in casa. Diversa è la situazione nell'area delle alte energie! Lì i finanziamenti, a partire dal dopoguerra, non sono mancati e sono stati di entità paragonabile a quella degli altri paesi. In quel settore l'Italia si è messa con le spalle al sicuro quando, grazie a Edoardo Amaldi, è entrata nel CERN e ha fondato l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, il quale per un bel po' di tempo ha utilizzato praticamente tutte le risorse nazionali destinate alla ricerca fisica. Gli istituti sorti in tempi più recenti hanno dovuto accontentarsi di quel poco che restava al fondo della pentola. Quindi sono nati sempre faticosamente e in ritardo rispetto agli altri paesi industrializzati. Considera ad esempio l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia: quando finalmente abbiamo potuto contare su un ente che valutava i progetti, assegnava i fondi, verificava i risultati, lo hanno chiuso dopo pochi anni di vita, a dispetto dei notevoli successi conseguiti. Basta guardare il cospicuo aumento nel numero delle pubblicazioni su importanti riviste internazionali prima e dopo la nascita dell'Istituto. Resta la dimostrazione che quando c'è un minimo di garanzia sull'entità e sulla continuità dei finanziamenti, quando c'è un'adeguata selezione, quando c'è un nucleo di valutazione della qualità dei risultati, bene, anche in Italia le cose possono funzionare. Purtroppo ora, dopo aver intravisto la possibilità di un recupero del tempo perduto, siamo di nuovo a terra. Anche se rispetto agli anni '60 ci troviamo molti passi avanti, la chiusura dell'Istituto di Fisica della Materia, a parte il drastico taglio nei finanziamenti e la perdita di continuità, è stata un forte elemento di demoralizzazione. Per esempio, ha fatto scappare dai nostri laboratori i giovani migliori degli ultimi anni: non pochi, tra i nostri dottori di ricerca, sono andati all'estero o si sono spostati in ambienti della finanza, dove pare che i fisici abbiano maggior creatività degli altri. È quest'ultimo il caso di Matteo Grassi Alessi, Matteo Bissiri... È un segnale ben forte di assenza di prospettive. Negli anni recenti se ne sono andati tutti: tra i nostri ex-studenti abbiamo dei giovani professori a Cambridge e a Nottingham in Inghilterra, e poi in Germania e in Francia, ossia in paesi che pure hanno i loro problemi. Amalia Patanè per esempio, che ha fatto

il dottorato qualche anno fa con Mario Capizzi, è partita per l'Inghilterra con la prospettiva di una borsa *post-doc* ed è già diventata professore! A lei non interessa rientrare perché gli inglesi le hanno fatto ponti d'oro, ma se anche avessimo voluto cercare di farla tornare a casa... Lo stesso vale per Alessandra Lanzara, dottorata con Antonio Bianconi, che si è sistemata a Stanford,⁹ e per Valentina Emiliani, dottorata con me, che opera benissimo a Parigi con il marito, anche lui fisico italiano ed ex-*Bell Labs*.

15.9 Fisica e musica

Questi sono episodi che servono a illustrare in modo davvero emblematico com'è la situazione attuale. Ma veniamo un po' a cose per te più incoraggianti, come il tuo impegno nella direzione di attività a cui in passato non hai potuto dedicarti, ma che ti hanno sempre interessato, per esempio la narrativa e la musica...

Una volta scrissi un romanzo imperniato sulla vita di Bach [91], ora ho in pubblicazione dei racconti di fantascienza quotidiana [92]. Ma queste attività vanno prese come prove di pre-pensionamento. Un po' meno la musica, visto che tengo anche un corso di Acustica Musicale... Ciò che mi ha sempre tanto colpito è che l'Italia può esibire, nel campo degli strumenti musicali, un passato folgorante: a parte gli Amati, gli Stradivari, i Guarneri, Clementi è l'inventore del pianoforte, Tartini è lo scopritore del famoso terzo suono (l'effetto psicologico di combinare due suoni diversi e udirne un terzo che in realtà non viene prodotto dallo strumento). Adesso la ricerca in quest'area è scomparsa, l'interesse è sceso a zero, nei conservatori si pretende di fare musica innovativa – per esempio elettronica – senza corsi adeguati dove uno possa imparare qualcosa sulle onde acustiche o sull'elaborazione del suono a livello fisiologico e neurale. Non è un caso se molta musica composta nel Novecento (in Italia più che altrove) a giudizio generale del pubblico vale poco. Ho deciso di fare il bimbo della favola che svela la nudità del re discutendone in un libretto appena pubblicato da Rizzoli [93]. Un diplomato di conservatorio si avventura nel mondo come un cieco che cammina in mezzo ai rovi: prima o poi si fa male, non credi? Questa è la situazione. Cui va aggiunto il fatto abbastanza inusuale che le nostre scuole di musica sono estranee all'ambito universitario. E anche la

⁹La Lanzara è stata da poco chiamata a Roma come professore associato.

solita mancanza di mezzi, di fondi, di scuole d'eccellenza, di attenzione a livello politico, che purtroppo affligge la musica tanto quanto la scienza.

Bibliografia

- [1] Study of the fast-state structure at the surface of n -type germanium, *Il Nuovo Cimento* 26, 1205 (1962) [in collaborazione con A. Balzarotti e G. Chiarotti].
- [2] Shift of optical absorption edge by an electric field: modulation of light in the space-charge region of a Ge p - n junction, *Appl. Phys. Letters* 5, 11 (1964) [in collaborazione con P. Handler].
- [3] Franz-Keldysh effect in the space-charge region of a germanium p - n junction, *Physical Review* 137, A1857 (1965) [in collaborazione con P. Handler].
- [4] Direct observation of phonons in silicon by electric-field-modulated optical absorption, *Phys. Rev. Letters* 14, 178 (1965) [in collaborazione con P. Handler].
- [5] Electroabsorption effects at the band edges of silicon and germanium, *Physical Review* 145, 575 (1966) [in collaborazione con P. Handler, F. A. Germano e D. E. Aspnes].
- [6] *La rivoluzione elettronica*, Editori Riuniti, Roma 1981.
- [7] Optical study of surface levels in Ge, *Il Nuovo Cimento* 26, 403 (1962) [in collaborazione con G. Chiarotti, G. Del Signore e G. Samoggia].
- [8] Anomalous Franz-Keldysh effect in the electroreflectance of semiconductors, *Sol. State Commun.* 6, 621 (1968) [in collaborazione con F. Evangelisti].
- [9] Influence of spatially dependent perturbations on modulated reflectance and absorption of solids, *Sol. State Commun.* 7, 155 (1969) [in collaborazione con D. E. Aspnes].
- [10] Combined investigation of nonuniform-field electroreflectance and surface galvanomagnetic properties in germanium, *Physical Review* 182, 795 (1969) [in collaborazione con D. E. Aspnes].
- [11] Electro-optic effect and modulated interference in tantalum oxide films, *Appl. Phys. Letters* 15, 406 (1969) [in collaborazione con P. Migliorato].
- [12] The Ge-aqueous electrolyte interface: electrical properties and electroreflectance at the fundamental direct threshold, *Physical Review B* 2, 1037 (1970) [in collaborazione con D. E. Aspnes].
- [13] Optical gap of strontium titanate (deviation from Urbach's tail behavior), *Phys. Rev. Letters* 25, 1298 (1970) [in collaborazione con M. Capizzi].
- [14] Distortion-enhanced optical absorption in SrTiO_3 at the cubic-to-tetragonal transition, *Phys. Rev. Letters* 29, 1741 (1972) [in collaborazione con M. Capizzi].
- [15] Thermomodulation experiments at the cubic-to-tetragonal phase transition in SrTiO_3 , *Surface Science* 37, 258 (1972) [in collaborazione con M. Capizzi e Q. Taccetti].

- [16] Split-off exciton and phonon dependent lineshape at the optical edge of silicon, *Sol. State Commun.* 11, 611 (1972) [in collaborazione con F. Evangelisti, M. Zanini e E. O. Kane].
- [17] Mass reversal effect in the split indirect exciton in Ge *Phys. Rev. Letters* 34, 1572 (1975) [in collaborazione con G.A. Thomas, T.A. Miller e E.O. Kane].
- [18] Electric-field-induced interference effects at the ground exciton level in GaAs, *Phys. Rev. Letters* 29, 1001 (1972) [in collaborazione with F. Evangelisti e J. U. Fischbach].
- [19] Electro-optical effects at the discrete and continuum exciton states in GaAs, *Surface Science* 37, 841 (1973) [in collaborazione con F. Evangelisti e J.U. Fischbach].
- [20] Dependence of exciton reflectance on field and other surface characteristics: the case of InP, *Physical Review* 9, 1516 (1974) [in collaborazione con F. Evangelisti e J. U. Fischbach].
- [21] Nature of the dead layer in CdS and its effect on exciton reflectance spectra, *Physical Review B* 10, 4253 (1974) [in collaborazione con F. Evangelisti e F. Patella].
- [22] Collision broadening in the exciton gas outside the electron-hole droplets in Ge, *Physical Review B* 13, 1692 (1976) [in collaborazione con G. A. Thomas, J. C. Hensel, R. E. Miller e P. A. Lee].
- [23] Fine structure of the indirect exciton in GaP, *Sol. State Commun.* 24, 801 (1977) [in collaborazione con M. Capizzi, F. Evangelisti, P. Fiorini e F. Patella].
- [24] Uniaxially stressed silicon: Fine structure of the exciton and deformation potentials, *Physical Review B* 17, 4821 (1978) [in collaborazione con J. C. Merle, M. Capizzi e P. Fiorini].
- [25] E-H plasma expansion in direct-gap GaAsP, *Phys. Stat. Solidi* (b) 108, 281 (1981) [in collaborazione con S. Modesti, J. L. Staehli, M. Guzzi, M. Capizzi].
- [26] High-excitation luminescence in direct-gap GaAsP: E-H plasma expansion effects, *J. of Luminescence* 24/25, 581 (1981) [in collaborazione con S. Modesti, L. G. Quagliano, J. L. Staehli e M. Guzzi].
- [27] Electron-hole plasma in direct gap Ga_{1-x}Al_xAs and k-selection rule, *Physical Review B* 29, 2028 (1984) [in collaborazione con M. Capizzi, S. Modesti, J. L. Staehli, M. Guzzi e R. A. Logan].
- [28] A-Si:H produced by double ion-beam sputtering", *J. Noncryst. Solids* 59-60, 723 (1983) [in collaborazione con C. Coluzza, D. della Sala, G. Fortunato, S. Scaglione].
- [29] Gap states in a-Si:H by photoconductivity and absorption, *J. of Non-Crystalline Solids* 55, 191 (1983) [in collaborazione con F. Evangelisti, P. Fiorini, G. Fortunato, C. Giovannella e R. Peruzzi].
- [30] Dual ion-beam sputtering technique for the production of hydrogenated amorphous silicon, *Thin Solid Films* 120, 215 (1984) [in collaborazione con S. Scaglione, C. Coluzza, D. della Sala, L. Mariucci].

- [31] Optical parameters of hydrogenated a-silicon and alloys near the gap, *J. Non-Crystalline Solids* 77-78, 539 (1985).
- [32] Gap state spectroscopy in a-Si_{1-x}C_{1-x}H alloys, *J. Non-Crystalline Solids* 77-78, 853 (1985) [in collaborazione con D. della Sala, P. Fiorini, A. Gregori, A. Skumanich e N. M. Amer].
- [33] Urbach tail and gap states in hydrogenated a-SiC and a-SiGe alloys, *Sol State Commun.* 54, 567 (1985) [in collaborazione con A. Skumanich e N. M. Amer].
- [34] Scattering effects on resonant tunneling in double barrier heterostructures, *J. Appl. Phys.* 65, 3510 (1989) [in collaborazione con B. Gu, C. Coluzza, M. Mangiantini].
- [35] The effect of scattering on electron tunneling mechanism in double barrier heterostructures, *Superlattices and Microstructures* 7, 29 (1990) [in collaborazione con B. Gu, C. Coluzza e M. Mangiantini].
- [36] Defect passivation by hydrogen in III-V semiconductor epitaxial films, *Thin Solid Films*, 193/194, 211 (1990) [in collaborazione con M. Capizzi].
- [37] Picosecond spectroscopy of hydrogenated MBE-GaAs, *Physica B* 170, 561 (1991) [in collaborazione con C. Capizzi, C. Coluzza, P. Frankl, M. Colocci, M. Gurioli, A. Vinattieri e R. N. Sacks].
- [38] Reorientation of the B-H complex in silicon by anelastic relaxation experiments, *Physical Review* B44, 1486 (1991) [in collaborazione con G. Cannelli, R. Cantelli, M. Capizzi, F. Cordero, A. Lo Presti].
- [39] Hydrogen passivation of interface defects in GaAs/AlAs short period superlattices, *Appl. Phys. Letters* 60, 2788 (1992) [in collaborazione con R. Fischer, G. Peter, E.O. Göbel, M. Capizzi, A. Fischer, K. Ploog].
- [40] Hydrogen activated radiative states in GaAs/GaAlAs heterostructures and InGaAs/GaAs multiquantum wells, *J. Appl. Phys.* 72, 1454 (1992) [in collaborazione con M. Capizzi, C. Coluzza, V. Emiliani, P. Frankl, A. Amore Bonapasta, Z. Sobiesierski. R. N. Sacks].
- [41] Effect of ion-gun hydrogenation on the photoluminescence of degenerate n-type GaAs:Si, *Physical Review* B 47, 4321 (1993) [in collaborazione con M. Capizzi, V. Emiliani, e F. Sarto].
- [42] Hydrogen-donor-induced free exciton splitting in GaAs, *Physical Review* B 47, 12563 (1993) [in collaborazione con M. Capizzi, V. Emiliani, e F. Sarto].
- [43] Scattering effects on resonant tunneling in double barrier heterostructures, *J. Appl. Phys.* 65, 3510 (1989) [in collaborazione con B. Gu, C. Coluzza, M. Mangiantini].
- [44] The effect of scattering on electron tunneling mechanism in double barrier heterostructures, *Superlattices and Microstructures* 7, 29 (1990) [in collaborazione con B. Gu, C. Coluzza e M. Mangiantini].
- [45] Defect passivation by hydrogen in III-V semiconductor epitaxial films, *Thin Solid Films*, 193/194, 211 (1990) [in collaborazione con M. Capizzi].
- [46] Picosecond spectroscopy of hydrogenated MBE-GaAs, *Physica B* 170, 561

- (1991) [in collaborazione con C. Capizzi, C. Coluzza, P. Frankl, M. Colocci, M. Gurioli, A. Vinattieri e R. N. Sacks].
- [47] Reorientation of the B–H complex in silicon by anelastic relaxation experiments, *Physical Review B* 44, 1486 (1991) [in collaborazione con G. Cannelli, R. Cantelli, M. Capizzi, F. Cordero, A. Lo Presti].
- [48] Effect of ion–gun hydrogenation on the photoluminescence of degenerate n -type GaAs:Si, *Physical Review B* 47, 4321 (1993) [in collaborazione con M. Capizzi, V. Emiliani, e F. Sarto].
- [49] Hydrogen–donor–induced free exciton splitting in GaAs, *Physical Review B* 47, 12563 (1993) [in collaborazione con M. Capizzi, V. Emiliani, e F. Sarto].
- [50] Scattering effects on resonant tunneling in double barrier heterostructures, *J. Appl. Phys.* 65, 3510 (1989) [in collaborazione con B. Gu, C. Coluzza, M. Mangiantini].
- [51] The effect of scattering on electron tunneling mechanism in double barrier heterostructures, *Superlattices and Microstructures* 7, 29 (1990) [in collaborazione con B. Gu, C. Coluzza e M. Mangiantini].
- [52] Defect passivation by hydrogen in III–V semiconductor epitaxial films, *Thin Solid Films*, 193/194, 211 (1990) [in collaborazione con M. Capizzi].
- [53] Picosecond spectroscopy of hydrogenated MBE–GaAs, *Physica B* 170, 561 (1991) [in collaborazione con C. Capizzi, C. Coluzza, P. Frankl, M. Colocci, M. Gurioli, A. Vinattieri e R. N. Sacks].
- [54] Reorientation of the B–H complex in silicon by anelastic relaxation experiments, *Physical Review B* 44, 1486 (1991) [in collaborazione con G. Cannelli, R. Cantelli, M. Capizzi, F. Cordero, A. Lo Presti].
- [55] Effect of ion–gun hydrogenation on the photoluminescence of degenerate n -type GaAs:Si, *Physical Review B* 47, 4321 (1993) [in collaborazione con M. Capizzi, V. Emiliani, e F. Sarto].
- [56] Hydrogen–donor–induced free exciton splitting in GaAs, *Physical Review B* 47, 12563 (1993) [in collaborazione con M. Capizzi, V. Emiliani, e F. Sarto].
- [57] Hydrogen ion–beam induced changes in the photoluminescence of GaSb/AlSb MQW structures, *Superlattices and Microstructures* 5, 297 (1989) [in collaborazione con M. Capizzi, C. Coluzza, A. Forchel].
- [58] Hydrogen ion–beam induced changes in the photoluminescence of GaSb/AlSb MQW structures, *Superlattices and Microstructures* 5, 297 (1989) [in collaborazione con M. Capizzi, C. Coluzza, A. Forchel].
- [59] Hydrogen passivation of interface defects in GaAs/AlAs short period superlattices, *Appl. Phys. Letters* 60, 2788 (1992) [in collaborazione con R. Fischer, G. Peter, E.O. Göbel, M. Capizzi, A. Fischer, K. Ploog].
- [60] Hydrogen activated radiative states in GaAs/GaAlAs heterostructures and InGaAs/GaAs multiquantum wells, *J. Appl. Phys.* 72, 1454 (1992) [in collaborazione con M. Capizzi, C. Coluzza, V. Emiliani, P. Frankl, A. Amore Bonapasta, Z. Sobiesierski. R. N. Sacks].

- [61] Hydrogen passivation of interface defects in GaAs/AlAs short period superlattices, *Appl. Phys. Letters* 60 2788 (1992) [in collaborazione con R. Fischer, G. Peter, E.O. Göbel, M. Capizzi, A. Fischer, K. Ploog].
- [62] Luminescence efficiency of Near-Surface Quantum Wells Before and after Ion-gun Hydrogenation, *Appl. Phys. Letters*, 62, 2697 (1993) [in collaborazione con Y.-L. Chang, I.-S. Tan, Y.-H. Zhang, J. L. Merz, E. L. Hu, e V. Emiliani].
- [63] Exciton Confinement in GaAs Quantum Barriers, *Physical Review B* 48, 1643 (1993) [in collaborazione con F. Martelli, M. Capizzi, A. Polimeni, F. Sarto, M. R. Bruni, e M. G. Simeone].
- [64] Giant photoluminescence enhancement in deuterated highly strained InAs/GaAs quantum wells, *Appl. Phys. Letters* 65, 1254 (1993) [in collaborazione con A. Polimeni, D. Marangio, M. Capizzi e F. Martelli].
- [65] Study of hydrogenation on near-surface strained and unstrained quantum wells, *Appl. Phys. Letters* 75, 3040 (1994) [in collaborazione con Y.-L. Chang, I.-H. Tan, E. L. Hu, J. Merz, e V. Emiliani].
- [66] Tunneling and relaxation of photogenerated carriers in near-surface quantum wells, *J. of Applied Physics* 77, 5712 (1995) [in collaborazione con V. Emiliani, B. Bonanni, M. Capizzi, F. Martelli e S.-S. Stone].
- [67] Optical investigation of carrier tunneling in semiconductor nanostructures, *Physical Review B* 56, 4807 (1997) [in collaborazione con V. Emiliani, S. Ceccherini, F. Bogani, M. Colocci e S. S. Shi].
- [68] Optical properties of InAs quantum dots: Common trends, *Physical Review B* 59, 7620–23 (1999) [in collaborazione con M. Grassi Alessi, M. Capizzi, A. S. Bhatti, F. Martelli, P. Frigeri, A. Bosacchi, e S. Franchi].
- [69] Charged excitonic complexes in GaAs/Al_{0.35}Ga_{0.65}As *p-i-n* double quantum wells, *Physical Review B* 60, 8897 (1999) [in collaborazione con V. M. Timofeev, A. V. Larionov, M. Grassi Alessi, M. Capizzi, e J. M. Hvam].
- [70] Optical Evidence of Polaron Interaction in InAs/GaAs Quantum Dots, *Physical Review B* 62, 4642 (2000) [in collaborazione con M. Bissiri, G. Baldassarri Höger von Högersthal, A. S. Bhatti, M. Capizzi, P. Frigeri, and S. Franchi].
- [71] Atomic Equilibrium Concentrations in (InGa)As Quantum Dots, *Applied Physics Letters* 78, 3121–3123 (2001) [in collaborazione con M. Galluppi, M. Capizzi, F. Boscherini, P. Frigeri, S. Franchi, e A. Passaseo].
- [72] High temperature photoluminescence efficiency and thermal stability of (InGa)(AsN) quantum wells, *Appl. Phys. Letters* 79, 2585–2587 (2001) [in collaborazione con M. Bissiri, V. Gaspari, A. Polimeni, G. Baldassarri Höger von Högersthal, M. Capizzi, M. Fischer, M. Reinhardt, and A. Forchel].
- [73] *Perché accade ciò che accade*, RCS–BUR, Milano 1995.
- [74] *Luce colore visione*, RCS–BUR, Milano 2000.
- [75] *La fisica sotto il naso*, RCS–BUR, Milano 2001.
- [76] *Ragione per cui*, RCS–BUR, Milano 2005.
- [77] *Fisica nella Musica*, Zanichelli, Bologna 1999.

- [78] *Parola di Galileo*, RCS–BUR 1998 [in collaborazione con M. Marenzana]; edizione inglese: *Thus Spoke Galileo*, Oxford Univ. Press, Oxford 2006.
- [79] *L'occhio di Galileo – Schegge di scienza quotidiana*, rubrica fissa sul mensile *Newton*, RCS Milano
- [80] The electron–hole system in GaSe at high densities, *Sol. State Commun.* 23, 45 (1977) [in collaborazione con Ph. Schmid e A. Grisel].
- [81] Excitation–induced–absorption and luminescence at the GaSe exciton, *Sol. State Commun.* 26, 203 (1978) [in collaborazione con J. L. Staehli e Ph. Schmid].
- [82] Changes of the excitonic spectra of GaSe induced by optical excitation, *Physica* 99B, 299 (1980) [in collaborazione con J. L. Staehli].
- [83] Effect of strong electric fields on the electroreflectance spectrum of conducting ferroelectric crystals, *Phys. Rev. Letters* 16, 688 (1966) [in collaborazione con P. J. Boddy].
- [84] Optical field–effects and band structure of some perovskite–type ferroelectrics, *Physical Review* 153, 606 (1967) [in collaborazione con P. J. Boddy].
- [85] Electromodulation of the optical constants of rutile in the UV, *Physical Review* 157, 700 (1967) [in collaborazione con P. J. Boddy e Y. S. Chen].
- [86] Self–consistent model for ambipolar tunneling in quantum–well systems, *Semicond. Sci. Technol.* 10, 577 (1995) [in collaborazione con C. Presilla e V. Emiliani].
- [87] Interaction mechanisms of near–surface quantum wells with oxidized and H–passivated AlGaAs surfaces, *J. Appl. Phys.* 75, 5114 (1994) [in collaborazione con V. Emiliani, B. Bonanni, C. Presilla, M. Capizzi, Y.–L. Chang, I.–H. Tan, J. Merz, M. Colocci, e M. Gurioli].
- [88] Nitrogen related complexes in Ga(AsN) and their interaction with hydrogen, *Physica status solidi* (2002) [in collaborazione con M. Bissiri, V. Gaspari, G. Baldassarri Höger von Högersthal, F. Ranalli, A. Polimeni, M. Capizzi, M. Fischer, M. Reinhardt, and A. Forchel].
- [89] Role of hydrogen in III–N–V compound semiconductors, *Semicond. Sci. Technol.* 17, 797–802 (2002) [in collaborazione con A. Polimeni, G. Baldassarri Höger von Högersthal, M. Bissiri, M. Capizzi, M. Fischer, M. Reinhardt, and A. Forchel].
- [90] Tunable variation of the electron effective mass and exciton radius in hydrogenated GaAsN, *Physical Review B* 69, 041201 (2004) [in collaborazione con A. Polimeni, G. Baldassarri Hoeger von Hoegersthal, F. Masia, M. Capizzi, Simone Sanna, Vincenzo Fiorentini, P. J. Klar, e W. Stolz].
- [91] *Bravo Sebastian*, Sansoni, Firenze 1989 (ristampa Bompiani 2007).
- [92] *L'ultimo esperimento*, Il Filo, Roma 2006.
- [93] *Armonia celeste e dodecafonia*, RCS–BUR, Milano 2006.

Capitolo 16

Ettore Salusti

Ettore Salusti è nato a Roma il 23 luglio 1937. Si è laureato in Fisica nel 1961 con una tesi sulla fisica Quantistica Nucleare, con Edoardo Amaldi e Marcello Cini. Dal 1961 al 1963 ha svolto ricerche sulla fisica quantistica nucleare nel laboratorio di Frédéric Joliot e Irène Curie a Parigi e ha continuato ad occuparsene nei due anni successivi, all'Università di Roma La Sapienza. Nel 1965 ha vinto una borsa di studio NATO ed ha studiato i problemi matematici collegati alla fisica quantistica nucleare presso il *Courant Institute* della New York University fino al 1967. Tornato a Roma, ha preso la libera docenza in Fisica Teorica nel 1970. A partire dal 1971 ha cominciato ad interessarsi di oceanografia dietro suggerimento di alcuni membri del Comitato per la Fisica del CNR. I recenti sviluppi nel campo dell'oceanografia fisica avvenuti in Francia, Stati Uniti, Unione Sovietica, Inghilterra in quegli anni, presupponevano l'integrazione delle misure sperimentali con l'uso dei modelli, un metodo che consentiva di fare esperimenti specificamente orientati alla focalizzazione di fenomeni ben precisi. Dopo aver studiato i problemi della fluido-dinamica oceanografica, Salusti ha utilizzato queste conoscenze per compiere personalmente campagne nei mari italiani selezionando gradualmente una serie di filoni di ricerca principali. Così lo studio delle equazioni del moto di fenomeni lineari di corrente, di vortici oceanici, di onde non lineari, è stato integrato con i risultati di misure di immagini termiche e SAR da satellite, uno strumento nuovo e di notevole potenza. Un'altra categoria di problemi ha riguardato la fisica degli stretti. In particolare è stato studiato lo Stretto di Messina, anche attraverso varie campagne con le navi del CNR. Lo studio del fenomeno delle onde interne marine, di grande importanza per una serie di problemi fisici e biologici, insieme alla conoscenza dello Stretto di Messina, ha consentito di focalizzare la presenza di onde solitarie interne, pacchetti di onde particolarmente grandi e veloci che, generati dalla marea nella parte più stretta della sella, si propagano per grandi distanze,

fino a 100 km. L'argomento dei moti di corrente è stato studiato in particolare riguardo al Mar Ligure e al Mare Adriatico.

Salusti ha tenuto un corso libero parificato di Oceanografia all'Università di Roma La Sapienza. È stato membro del Consiglio Scientifico dell'Istituto "Talassografico" di Trieste e dell' "Istituto Grandi Masse" di Venezia.

16.1 Gli anni di università

Ettore Salusti, nato a Roma il 23 luglio 1937. Figlio unico. Non so se questo può essere di interesse...

*Che tipo di stimolo ritieni di aver ricevuto dai tuoi genitori? Nel senso più ampio, naturalmente...*¹

Mio padre era un impiegato SIAE e veniva da una famiglia con una piccola proprietà in campagna, in Umbria. Era una persona estremamente umana, ma essenzialmente è stato dapprima un 'gagà' e poi un impiegato.

Mia madre invece era una di quelle donne che mordevano il freno: figlia di un fattore in campagna, molto rigida ma con un grande amore per la musica e per tutta una serie di cose che lei aveva potuto... annusare solo da lontano. Per capire alcuni suoi pensieri, è interessante aver letto il libro sulla vita di Lou Salomè, anche per poter vedere le differenze tra un'intellettuale russa emancipata dell'Ottocento ed un'italiana non-emancipata del Novecento.

I miei mi hanno mandato alla scuola di famiglia, che era il San Giuseppe a Piazza di Spagna, a Roma. Devo dire che, mentre tra gli studenti c'erano delle persone deprecabili, gli insegnanti erano seri.

Poi quando sono venuto qui all'Università, a Fisica, ho preso le cose con serietà assoluta. Specialmente il primo anno mi sono impegnato per quanto sapevo e potevo, senza altri interessi. Posso dire di aver faticato moltissimo, perché ho cercato di capire che cosa fosse il mondo universitario, il mondo professionale. Per me Fisica era una facoltà interessante, di forte sfida personale ma non è che fossi spinto da ambizioni personali. In realtà Fisica in quel tempo era la punta di diamante della borghesia colta italiana, mentre per me era una sfida con me stesso per riuscire a dar seguito... alle mie motivazioni interiori.

Come avevi maturato questa scelta?

¹All'incontro, avvenuto nei giorni 16 e 17 ottobre 2005, nel Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza", era presente anche Carlo Bernardini.

Per motivi apparentemente sciocchi o casuali, mi piacevano i romanzi di fantascienza, gli 'Urania'. Inoltre un'insegnante mi aveva suggerito di far Fisica e mio padre riteneva che fosse un'idea buona.

Gli inizi furono piuttosto difficili, alle prime lezioni credo che fossimo alcune centinaia, una mandria di giovani turbolenti e un'insegnante che veniva, in quelle bolge, metà come un domatore e metà come Daniele nella fossa dei leoni.

Due o tre persone mi hanno colpito: il primo era Gaetano Fichera, un grande matematico molto deciso, coraggioso, capace di reggere le situazioni più strane. Col tempo ne ho sentito dire delle cose spiacevoli, ma certo era un gran professionista.

C'era anche Carlo Pucci che era esattamente il contrario, un buon matematico ricco di una grande umanità, una grandissima civiltà, che accettava che gli studenti facessero i peggiori casini in modo tale da far loro capire da soli quel che non dovevano più permettersi di fare. Ricordo anche Edoardo Amaldi, energico, bravo, ma meno disponibile.

Un ricordo spiacevole è che c'erano alcune ragazze, una di queste era molto carina, ma non era timida, per nulla, anzi era 'fanatica'. Gli studenti la prendevano in giro, anche io l'ho fatto e male, e ora ripensandoci me ne dispiaccio. Pochi amici, insomma una vita assolutamente monastica, da samurai. Gli esami sono andati abbastanza bene, ma non benissimo il primo anno. Ricordo che all'esame di Fisica sperimentale Giorgio Salvini mi fece domande trabocchetto ed io me ne accorsi e lo rimproverai; un punto a favore di Salvini. . .

L'anno dopo mi innamorai di una ragazza di Fisica, abbastanza gentile, colta ma un po' rigida. Nel seguito ci annoiammo e ci lasciammo. Tutto questo mi fece effetto. . . mi sbilanciò. In realtà io non ero assolutamente preparato a questi rischi d'amore: persi un anno. Ovviamente la ragazza non aveva nessuna colpa.

Gli esami allora mi andarono male per un lungo periodo e ricordo il mio stupore di trovarmi, dopo uno o due anni, con una bassa media di esami. Occorse un lungo sforzo per cercare di migliorarla. . .

Nel seguito dovetti conoscere altre persone, simpatiche, utili per ritornare a una forma di normalità. Le cose infatti cominciarono a migliorare solo sul tardi, quando Amilcare Bietti, un mio caro amico, mi aveva raccontato di Marcello Cini a cui aveva chiesto la tesi. In quel periodo cominciai a costruirmi un'idea di questo Istituto. Capii come Bruno Touschek, Marcello

Cini fossero delle persone veramente notevoli e anche Amaldi, Salvini e altri insegnanti, più giovani come Carlo Franzinetti, Marcello Beneventano. . .

Seguivi anche i loro corsi?

Certo! Sono stato il primo a fare l'esame di Touschek. Siccome avevo risposto in maniera un po' cretina ad una domanda, non dando importanza ad un particolare su una curva che invece era importante, mi dette 29. Mi arrabbiai come una iena !

E nel frattempo Bietti, e la ragazza rigida di cui ho parlato, mi avevano suggerito di andare fuori all'estero. Ricordo che un'estate andai a fare l'autostop in Germania, mi rubarono i soldi dopo 3 giorni e feci un lungo e bellissimo viaggio con. . . mi sembra 3 marchi al giorno, o 5. Fu un periodo di libertà, felicità. . .

Poi seguì il corso di Cini, Meccanica Quantistica, famoso per la sua incomprendibilità; era bellissimo il corso di Touschek sulla Meccanica Statistica. Durante l'esame con Cini ero ovviamente preoccupato, forse non so valutare quanto fossi nervoso. Nel corso dell'esame gli presentai delle piccole personali variazioni sulle sue lezioni, che lui per gentilezza parve apprezzare.

Ma non sembra che tu sia stato particolarmente folgorato da questi corsi che seguivi!

Da quello di Touschek sì! Era molto bello. Però lui era anche una persona a cui non veniva naturale affidarsi. Cini dava l'idea di essere più istituzionale, più solido. Dei vari insegnanti ho detto di Salvini, e di Beneventano, che era stato un uomo estremamente paziente, umano, vicino alle persone. Faceva esercitazioni di Fisica Sperimentale.

L'anno dopo c'era Franzinetti, un uomo brillante, che teneva le esercitazioni di Fisica Sperimentale.

Non so se può essere interessante, ma c'erano due o tre esami che mi erano assolutamente ostici: riuscii a fare Chimica-Fisica grazie alla raccomandazione di un amico e ne fui contento.

Difficilissimo anche l'esame di Esercitazioni di Fisica, detto Fisichetta, che fu una specie di momento magico per me. Nell'esperienza di esame di laboratorio non avevo la minima idea di che cosa dovessi fare. Mi stavo strangolando con dei cavi e passò un tecnico di laboratorio, che si mise a ridere e mise a posto il circuito. Così evitai il peggio. . . Poi all'orale mi fecero un po' di domande e mi chiesero - una carognata infame - il coefficiente di dilatazione termica del ferro. . . In quel momento avvenne un miracolo! Ricordai che, in campagna, per fare le ruote dei carri dei buoi,

si faceva una struttura circolare solo in legno, una ruota, poi si scaldava un cerchio di ferro ad alta temperatura e si metteva intorno alla ruota di legno in modo che, raffreddandosi, il ferro stringesse il legno costruendo così una ruota di ferro e legno molto forte. Il mio insegnante era Ezio Ferrari, raccontai a lui tutte queste cose e venne fuori un coefficiente di dilatazione del ferro ragionevole. A mio avviso, avrebbero dovuto darmi 30 e lode, invece la commissione mi cacciò con un 19! Fui contento lo stesso. Credo di non essere mai stato convinto della mia intelligenza come in quel momento.

E il corso di Chimica Fisica, con chi lo avevi fatto?

Con il professor Pesce.

Infatti, ci avrei giurato, dalla descrizione!

Si dice che una volta, durante l'esame di Chimica Fisica, l'interrogatore si sia sbagliato: credette che un ragazzo fosse il figlio di Amaldi e gli disse: "Bene, Amaldi, 30 e lode", e lui: "Io non sono Amaldi, ma certo accetto il 30 e lode lo stesso, grazie!"... Insomma, colpi di fortuna!

Non mi sembra che ci siano altre cose che mi avessero colpito.

16.2 La laurea e il viaggio negli Stati Uniti

Con chi hai fatto la tesi?

Con Cini. Sceglimmo un argomento che lui né conosceva, né gli interessava; gli chiesi io di fare una tesi in Fisica Nucleare per evitare campi frequentati da troppa gente, perché non mi piacevano le situazioni troppo affollate, troppe pressioni, troppo sgomitare... , preferivo restare da solo. Daniele Prospero propose a Cini una tesi su correlazioni angolari alfa-gamma dai nuclei deformati. Io studiai questa tesi, mi doveva aiutare Vittorio De Alfaro che era molto occupato, parlai in totale tre volte con Cini durante tutta la tesi. Questo fu l'aiuto esterno. Ed il resto lo feci io, da solo.

Ad un certo momento mi veniva fuori un'equazione differenziale ordinaria e per risolverla usai carta e penna, poi mi accorsi che a metà avevo fatto un sbaglio numerico e ricominciai da capo. Avevo conosciuto una ragazza, Luisa e lei mi aiutò per un po'. Poi ho saputo che Annette Rambaldi stava a Roma ed era esperta di computer, non sapeva che fare e si annoiava! Ma io feci una grossa fatica che poi fu pubblicata sul *Nuovo Cimento*.

Ricordo anche che alla laurea pensavo che i docenti mi avrebbero potuto

trattare meglio. Io avevo sperato che mi compensassero i voti spiacevoli precedenti, ma la commissione questo non lo poteva fare e non lo fece; mi dettero i voti giusti, però io non ne fui felice.

Infine può far ridere pensare che mi sono laureato un venerdì 17, mi sembra di novembre 1961, alle ore 17 e 17 primi, e con ciò la mia fortuna professionale futura fu assicurata.

Dopo di ciò Cini mi disse: “Senta Salusti, noi abbiamo dei fondi, possiamo darglieli...”. E mi inviarono in Francia. Infatti in Istituto cercavano di differenziare il gruppo teorico. Amaldi diceva che chiunque poteva esser benvenuto purché non facesse la teoria dei campi, non nel senso che fosse ‘brutta o cattiva’, ma nel senso che c’era troppa gente e che facevan tutti le stesse cose. Perciò la mia idea di fare Fisica Nucleare, almeno a livello di Amaldi, era stata vista con simpatia.

Qual era la motivazione per la scelta della Francia?

Mi mandarono da un amico di Cini, che era Maurice Jean. Da molti punti di vista era una persona straordinaria, era un francese che aveva fatto la Resistenza ed aveva conosciuto Cini per motivi politici. Da giovane si era pagato da studiare suonando la tromba ai matrimoni ed era proprio un uomo senza strutture astratte nella testa! Lavoravamo in un laboratorio un po’ fuori Parigi, a Orsay, che adesso è diventato un grandissimo centro, ma a quel tempo era una nuova frontiera.

Ricordo quando arrivai lì a Parigi con il mio primo volo in aeroplano, che mi pagarono da Roma con la borsa, era freddo, brutto tempo! I primi tempi andai in un alberghetto a Rivoli, poi conobbi Giovanni Sartoris di Napoli. Nei primi giorni del 1962 mi suggerì di andare alla “Maison Universitaire”. E questo risolse molti problemi pratici, avevo una stanza, una casa, delle cucine... Lì studiai con la guida di Maurice Jean e alcuni dei suoi, persone più giovani, un “approccio” molto nuovo, delle quasi-particelle nei nuclei. Quello di Jean a Orsay era un buon gruppo, anche se umanamente piuttosto contorto; però il primo anno con Jean e poi con Michele Veneroni imparai delle cose importanti per me: ero molto contento, ma anche lì lavorai tanto intensamente che quando stavo a casa da solo, facevo i conti a mente, conti difficili come le diagonalizzazioni di matrici. E certo vivere a Parigi, lavorando anche con molta concentrazione, era infinitamente lontano dal mondo di tradizioni chiuse in cui io ero vissuto, chiusura come ideologia, come ignoranza. Mio padre era una persona di grande bontà, però il suo era ugualmente un mondo invivibile. Perciò la Francia con tutte le ricchezze,

i pittori, le persone 'strane', qualche vaga ragazza da lontano; beh era un mondo di bellissima libertà, un sogno!

Riuscii a pubblicare la tesi, poi con Veneroni vennero fuori — mi sembra — un paio di articoli carini.

Però nel frattempo mi domandavo: “Questo metodo delle quasi-particelle, che non ‘conserva’ il numero di nucleoni, che diavolo di senso ha?”. E mi veniva voglia di tirare fuori una analisi più critica, per costruire lo stesso modello ma conservando il numero di nucleoni. Finalmente ebbi la buona idea e ci riuscii: ne risultò un articolo buono, pubblicato sul *Nuovo Cimento* [1]. Dopo circa 6 mesi un gran capo americano, H. Arthur Klein, pubblicò la stessa cosa, ed io gli scrissi per affermare la mia priorità ed effettivamente, nel secondo articolo della sua serie, Klein aggiunse una piccola riga dicendo: “Attenzione anche ai lavori di E. Sahisti”, come se fossi un indiano!

È una tecnica tipica; stravolgere i nomi. . .

Sì! Ad ogni modo questo tipo di cose mi erano piaciute abbastanza, però non mi sembrava che potessero riempirmi, era un po' come giocare da bambino con le palline. . . Il mio scopo non era questo, mi avrebbe fatto piacere sapere di strutture più complicate, e ragionarci.

Dopo, Jean parlò bene di me a Cini e ad Amaldi: questo articolo che ho detto, sul metodo delle quasi-particelle con il numero corretto di nucleoni, fu una buona introduzione e rimasi a Roma due anni, con lo stipendio di un altro ricercatore assente, in una posizione ‘ballerina’ che però non mi dispiacque. Mi ero sposato in Francia con Luisa. Insomma erano degli anni. . . Come posso dire? Immaturi, ma affascinanti. Soprattutto perché c'era anche Parigi. E poi scoprire. . . Scoprire le donne, la vita in comune. . . Tutto questo era molto bello, molto vivo.

Tuttavia avevo una idea fissa, che volevo saperne di più, pensavo che ci fossero delle strutture culturali più profonde, che ci fossero delle cose da sapere, mi sentivo come una persona che si era fermata sul bordo del fiume. Studiavo un po' di libri sulla Teoria delle Distribuzioni e cose del genere matematico: chi forse mi influenzava di più era Giuseppe Da Prato, una persona molto singolare, molto matura; non so dove sia adesso, forse professore a Pisa. Sì, era sicuramente una persona brava! Volevo imparare delle cose differenti, ci riuscii in una maniera assolutamente catastrofica e contorta, quando ho conosciuto Gianfausto Dell'Antonio che era un giovane professore di Napoli.

A Parigi c'erano dei napoletani. Ho già citato Nanni Sartoris, aveva la

moglie lì; molto simpatici! Poi c'era Aldo Covello, che arrivò in un secondo momento e fu un grande amico. Ripeto, era un bel periodo... Quando ho conosciuto Dell'Antonio, andai a casa sua e gli dissi: "Io vorrei imparare da te" e lui non mi disse "no!". Disse: "Sto andando in America, trovati i soldi e vieni".

Mia moglie non era felice di questo, nel senso che era una persona, come potrei dire, neanche semplice! Era una persona senza grossi stimoli, ma contenta di organizzare la vita in maniera pacifica, allegra, senza tensioni. Ad ogni modo, io riuscii ad avere una borsa NATO per la Fisica e concorsi anche per le borse NATO per la Matematica. Infatti nella mia ricerca disperata di fondi avevo anche scritto a dei professori americani per andare a studiare da loro. Ed uno di loro mi mandò una lettera molto lirica, molto entusiasmante e vaga... che poteva significare tutto e niente. Io aggiunsi questa lettera vaga alla richiesta della borsa di studio per la Matematica. Con mia assoluta sorpresa, dopo qualche tempo dopo aver ottenuto quella per la Fisica, anche la Commissione per la Matematica mi dette una borsa di studio.

Allora riuscii ad andare al *Courant Institute* (New York) con Dell'Antonio. Al *Courant*, che era in un bellissimo edificio, Dell'Antonio si rivelò una persona sicuramente brava, simpatica, però in crisi, perché sua moglie si stava allontanando. E perciò mi trovai con mia moglie, una figlia e una seconda figlia in arrivo e Dell'Antonio che diceva: "Se tu fossi più onesto (culturalmente) ti insegnerei". E io non sapevo dove sbattere la testa.

Non capisco bene che cosa volesse dire con questa frase ...

Neanche io! Ma lui era una persona rigorosa e direi molto puritano! Veniva dalle montagne e, per esempio, diceva che uno si sposa se si può sposare, ed io invece dicevo che sposarsi è un diritto di ogni persona. E non è che uno doveva limitare la propria vita in funzione delle pressioni che venissero dal di fuori. Uno fa la sua vita, poi qualcosa accadrà e le cose si aggiusteranno... Probabilmente aveva ragione lui. Insomma era tutto molto incerto. E non solo, la moglie di Dell'Antonio era una persona squisita, affascinante però di tradizione valdese, molto rigorosa. E tra loro c'era qualcosa che non andava; nel seguito seppi che fu dura con lui, se ne andò in America portando con sé i loro due figli.

Insomma, per me furono degli anni terribili, un vero fallimento professionale. Però vivere a New York per due anni è stato interessante e soprattutto ho potuto lasciare tutte quante le cose di Fisica che facevo, e che non mi

piacevano più, e mettermi a studiare delle altre cose, che magari non hanno avuto successo però mi piacevano.

Da chi hai avuto stimoli in quel periodo?

Al *Courant* erano delle persone brave, ma riservate, avevo una certa amicizia con Daniel Zwanzinger che era una conoscenza romana. . . In realtà io proprio volevo fare un certo tipo di ricerca. Mi ricordo che studiai prima un libro di M. A. Naimark (*Normed Algebras*) e l'anno dopo studiai un libro di un matematico Bourbakista francese, così duro che mi occorreva un giorno di riflessione per capire una pagina, anche perché l'autore, se per esempio in una frase non metteva una virgola o non metteva un punto esclamativo, allora dava alla frase un senso matematico del tutto differente. E spesso io non riuscivo a vedere che mancava quella certa virgola, mancava un punto interrogativo o mancava dell'altro . . . ed il guaio era che per capirlo mi ci occorreva un giorno di lavoro; era durissimo!

Cosa ti guidava, in realtà?

Non avevo un progetto. Poi, stranamente, questo mio interesse astratto fu visto con simpatia qui a Roma, e un giorno arrivò Gianni Jona-Lasinio e mi disse che a Roma mi volevano dare un posto fisso, di ricercatore. In fondo, con Daniele Prospero avevo fatto dei buoni lavori.

Quindi ti piaceva studiare queste cose astratte. . .

Ho studiato queste cose astratte perché c'era anche una forma di corrispondenza interna, un certo desiderio di fare un lavoro di intelligenza, di raffinamento, di limare le ipotesi, che è più da matematico, forse, che da fisico, anche se io sono un fisico.

16.3 Il ritorno a Roma

Dicevi poco fa che Gianni Jona-Lasinio ti prospettò la possibilità di una sistemazione come ricercatore.

Certo, anche prima io speravo che fosse possibile, che avvenisse una cosa del genere, perché bene o male avevo una moglie e due figli, anche se mi era chiarissimo che il mondo reale e il mio mondo emotivo sono differenti. Ricordo anche che quando partimmo da New York trovammo che uno degli assegni che mi dava il *Courant* non era stato riscosso in banca, e corsi lì per farmi dare i soldi. Ed effettivamente me li dettero, poi feci il giro di tutte

le botteghe di roba vecchia di New York per trovare delle casse. Facemmo allora i bagagli e tornammo in Italia.

Qual era il bilancio di questo soggiorno statunitense? Avevi pubblicato dei lavori?

Non particolarmente, uno o due articoli di Fisica Nucleare, ma non pubblicai niente di fisica matematica o altro.

Che cosa ti era rimasto di quella esperienza?

La sensazione di essere entrato in un mondo differente, nel quale forse io non ero competitivo, nel quale forse le cose non andavano bene, però, se non altro era come acquistare una mano in più. Non ero più la persona di prima. E sebbene io avessi sbagliato da tanti punti di vista, in realtà la cosa che volevo l'ho ottenuta. Certo sarebbe stato meglio se avessi avuto degli agganci, delle persone che avessero stima di me, ma non ci sono state, sicuramente per colpa mia.

Certamente hai fatto dei passi avanti in una direzione di ricerca della tua personalità scientifica.

È stata un'esperienza bella anche professionalmente, perché le cose che ho imparato allora mi sono ora essenziali. E a New York c'erano persone che conoscevano 3 o 4 campi contemporaneamente e avevano un'impostazione che non era in nulla ristretta.

Certo, se uno pensa alla propria carriera, questo periodo è stato proprio una catastrofe totale. Stranamente però le persone di Fisica a Roma mi hanno offerto un posto.

C'è una varietà di personaggi più difficili da collocare, perché hanno un'ossessione maniacale per la purezza della matematica!

Infatti! Quando Dell'Antonio mi ha fatto capire quali erano le sue radici, ha raccontato che una volta, probabilmente quando stava a Milano, Wolfgang Pauli andò a fare un seminario e Dell'Antonio fece un'osservazione seria. Pauli rimase colpito e lo portò con sé a Zurigo. Però quasi subito Pauli disse che gli girava la testa: "Sto male, sto male!" Ed è morto poco dopo. E anche Sergio Doplicher, bravissimo, era una persona amica. Lavorava con Dell'Antonio, ma per me non c'era collegamento con queste persone. Erano persone particolari. Notai che per quelli che avevano fatto il Liceo classico, la base culturale e anche emotiva è la filosofia o la storia delle religioni, per loro invece era la matematica. Perciò spesso c'era quasi una componente religiosa nel loro lavoro.

Perché c'è una differenza profonda tra la struttura solidale dei fisici, che hanno bisogno di collaborare anche se vengono da dipartimenti diversi, in qualche modo si danno credito a vicenda.

Ma tra i fisici c'era anche un forte senso di costruzione, la scienza del futuro! nel senso che essendo la 'punta di diamante della borghesia', avevano necessità di consolidare questa punta di diamante.

Comunque i capi avevano dei precedenti; insomma, voglio dire che l'input dato da Amaldi derivava a sua volta dalla formazione che lui stesso aveva ricevuto, dall'aver appreso certe regole in base alle quali organizzare la vita dei fisici.

Quello che posso ricordare è che per molti anni, troppi, io continuai a studiare come avevo fatto in America, ma non ottenevo nessun risultato. In realtà perché lì in America avevo studiato le Algebre Normate, in un certo senso le pure avevo imparate, ma non sapevo quale fisica ci fosse sotto.

Due o tre cose interessanti: venne un professore americano che raccontava queste Algebre e ci andai con un mio studente che stava lì in giro. Dopo un po' scoprii, senza piacere, che lo studente stava capendo più di me... però era Giorgio Parisi! A posteriori non è stato un dramma totale, ma certo in quel momento era un po' umiliante.

L'altra cosa interessante è che dopo un po' di tempo io riuscii a tirar fuori un modellino simile a quello di Thirring, relativistico, fermionico, ma con massa. Un modellino con massa era di un certo interesse, perché Thirring la massa non ce la poteva mettere, mentre invece con i semigrupperi, si poteva mettere. Un modellino, insomma, di teoria dei campi, dimostrando che esistevano delle soluzioni imprevedibili. E ottenni questo usando la teoria dei semigrupperi, che avevo imparato con Beppe Da Prato. Questo lavoro aveva un certo interesse di matematica, mentre in fisica era abbastanza inessenziale. Uscì sul *Nuovo Cimento* [2]. E almeno questo dimostrava che in quel difficile campo, in quegli anni anche io avevo fatto qualche cosa.

La cosa divertente è che, qualche tempo prima, io avevo proposto delle soluzioni esplicite elementari del modellino dell'oscillatore armonico quantistico con un forza di richiamo non costante, ma variabile nel tempo. Infatti con mia sorpresa io avevo visto che c'è una certa maniera di trovare delle soluzioni esatte. Ne parlai ai miei studenti. Parisi non era interessato, neanche Testa, invece Francesco Zirilli se ne interessò e quello che venne fuori fu un articolo piccolo sul *Nuovo Cimento*, di soluzioni esatte della equazione

di Schrödinger dipendente dal tempo. Non credo che siano conosciuti altri esempi elementari. Fu pubblicato [3], e andò bene.

Però dopo, per un po' di tempo nessuno si interessò di quel mio articolo sul modello di Thirring a cui avevo lavorato per anni, e tutti quanti, maestri di scuola dell'Oklahoma, fisici dell'India, organizzatori culturali mi chiedevano invece questo modellino dell'oscillatore armonico dipendente dal tempo, con una mia rabbia che non finiva più! Tuttavia, dopo qualche anno l'altro articolo su Thirring fu scoperto ed ebbe un percorso professionale normale.

16.4 L'Oceanografia

Come hai cominciato ad occuparti di Oceanografia?

Durante le tensioni del '68, un giorno m'accorsi che a Fisica c'erano delle stanze piene di persone che facevano meccanica quantistica, tanti, persino troppi, mentre probabilmente il paese soffriva di gravi deficit culturali.

Allora provai a chiedere informazioni a Carlo Ballario riguardo al CNR, alle persone che bazzicavano nel mondo reale e non nel mondo quantistico. Lui mi disse che c'erano dei campi in cui un fisico sarebbe stato utile. Inoltre mi dissero che il campo più depresso in quel momento era l'Oceanografia, la Fisica del mare. Io ne parlai un po' in giro, una volta Cini con grande simpatia mi disse: "Sì, va bene, però io non sono la persona ideale" e mi mandò a parlare con Amaldi. Questi mi fece un 'cazziatone nero' e mi rimproverò in tutti i modi possibili ricordandomi la contestazione del '68 e le tensioni relative. Insomma, Amaldi si prese tutte le sue piccole vendette, tutte quelle che poteva, certo senza ammazzare le persone, ma levandosene il gusto.

Che anno era quando parlasti con Amaldi?

Era il 1971. Era presente anche Francesco Calogero, imbarazzato; ma mi fu facile rispondere ad Amaldi: "Se lei conosce qualcun altro che voglia fare queste cose, bene, incarichi quest'altra persona".

Perché Calogero era imbarazzato?

Perché Amaldi fu assai duro!

Cosa ti diceva?

Non strilli isterici, ma certo, Amaldi era . . . innervosito! Nello stesso periodo Cini e Da Prato avevano subito uno strano percorso. Cini per motivi

personali ha avuto degli alti e bassi, aveva lasciato la direzione dell'Istituto ed era stato messo in quarantena dagli altri cattedratici, soprattutto di sinistra. Io ricordo di aver visto una volta che facevamo insieme gli esami - cioè Cini era il capo ed io ero assistente - ed arrivò una segretaria dicensi: "Ma sa, per quella riunione di cattedratici, veramente hanno già deciso tutto". "Come hanno deciso tutto! Non era per le cinque?", "Sì, ma l'hanno cominciata prima, alle tre". "Va bene! Allora io vado là e annullo tutto quanto, perché se io non c'ero quando loro hanno preso queste decisioni, queste decisioni non hanno valore!". Ed era una vita di questo genere, piuttosto vispa.

E contemporaneamente Beppe Da Prato nel '68 ha avuto uno strano atteggiamento: mentre lui era una persona estremamente riservata, razionale, senza emozioni molto evidenti, si mise delle volte a proteggere Cini, come segretario del consiglio dei professori; queste erano cose che facevano un certo effetto.

Certo nella vita ci sono molte sfaccettature, positive e negative, infatti mia moglie si era stancata di me e si mise con un mio amico, cosa che non fu molto piacevole, soprattutto perché anche lui aveva due figlie, così ci furono 6 persone in mezzo ad una strada.

Ad ogni modo quel periodo fu per me improduttivo professionalmente, però umanamente erano anni ricchi. Anche se i matrimoni saltavano, i figli andavano a destra e a sinistra, una gran confusione! Nel 1971 già c'era molta più calma, Amaldi si prese quella piccola vendetta, ma dopo mi telefonò persino a casa. Io non c'ero, però insomma c'era una forma di rapporto umano, non sempre piacevole, ma esisteva; non era un muro contro muro.

Ed io cominciai lentamente a capire che cosa fare in questo nuovo campo dell'Oceanografia. Il mio difetto principale era di possedere una metodologia astratta in un mondo in cui di tutto si aveva bisogno tranne che di astrazioni. Ugualmente, cominciai a fare teoria dei semigruppì applicati all'Oceanografia, di fronte allo sconcerto degli altri esperti italiani. Ora le persone che in Italia facevano Oceanografia a quel tempo avevano la caratteristica di essere, come dire?, un po' limitati culturalmente, molto finalizzati a ricerche applicate . . . In realtà come nella seconda guerra mondiale le bombe di Hiroshima e Nagasaki ebbero l'effetto di enfatizzare a livello politico l'importanza della Fisica nucleare, lo sbarco degli anglo-americani in Normandia, ebbe un effetto simile per l'Oceanografia.

Dunque, a Trieste c'era Carlo Morelli che a mio avviso era esperto e molto

deciso.

No, c'era un altro! Come si chiamava...?

Si chiamava Mosetti. Mi fa piacere che Bernardini si ricordi di Ferruccio Mosetti. Era una persona entusiasta, un naturalista esperto, ma anche un po' all'antica. L'effetto dello sbarco in Normandia non era ancora arrivato. Ed era abbastanza infelice. Con Morelli c'era invece un buon geologo che si intendeva di fluido-dinamica, Antonio Marussi. Marussi era una persona molto preparata e seria.

Ma di fatto, qual era lo stato dell'arte in Italia quando tu sei entrato in questo settore?

C'erano due centri che si facevano un po' di battaglia. Uno era appunto quello di Trieste, di buona tradizione, in cui però le persone erano di interessi applicativi, o come cultura o come attività . . .

Poi Puppi aveva fatto un'azione 'geniale', aveva costruito un laboratorio CNR per Venezia, e questo laboratorio era stato messo nelle mani di Roberto Frassetto. Fu come far gestire il laboratorio a un uomo d'avventure settecentesco.

Frassetto era stato uno degli eroi che all'inizio della Seconda Guerra mondiale aveva portato i 'maiali' esplosivi sotto le navi inglesi, a Malta credo, e dopo lo scoppio del 'maiale', ferito a morte, era stato catturato dagli inglesi che lo avevano invece curato e rimesso a posto. Poi in America ha lavorato un po' per la Columbia University. Nel seguito lo avevano fatto capo di un laboratorio *SACLANT* della NATO, che stava a La Spezia.

Qualche anno dopo io andai in visita al *SACLANT*, erano gentili, ma i carabinieri italiani avevano stilato su di me un rapporto 'rosso'; ero considerato pericoloso, tanto che non potevo neanche andare da solo al bagno, perché mi si doveva seguire ovunque. Per dire come era liberale quel periodo.

Ma, sul piano professionale, Frassetto ebbe la fortuna e la capacità di trovare, e capire, un grosso fenomeno oceanografico, di 'vederlo' molto bene. In altre parole che ad est di Gibilterra le maree provocavano delle forti perturbazioni. Queste erano relativamente piccole e poco visibili in superficie, ma corrispondevano a delle grossissime perturbazioni interne, chiamate onde solitarie interne. Lui le seppe intuire e misurare in una maniera splendida! Questi erano i suoi pregi. A quel che si mormorava, i suoi difetti erano che quando gli davano un Istituto ci metteva dentro delle persone abbastanza imprevedibili e di solito finiva il budget a marzo-aprile, invece di farlo arrivare fino a dicembre. Era appunto uno di quei personaggi che si trovano

16. Ettore Salusti



Figura 16.1: Ettore Salusti.

nei libri. Non aveva la capacità organizzativa universitaria, aveva una capacità splendida di far facciata ed era intimamente di una libertà, di una generosità quasi totale. Secondo me Frassetto era bravissimo a giocare a poker su più tavoli contemporaneamente, solo che talvolta perdeva perché si metteva in più tavoli di quelli che poteva controllare!

È lui che ha organizzato il laboratorio delle Grandi Masse di Venezia, che tra parentesi è in un bellissimo palazzo d'antiquariato a Calle Papadopulo, mettendoci delle persone che gli erano state inviate da professori dei dintorni. Ce ne erano due o tre che erano brave ed hanno fatto una buona carriera, anche splendida, gli altri sono rimasti poco attivi in quel laboratorio, che non è certo il migliore nel CNR italiano.

Si diceva anche che tra Trieste e questo gruppo di Venezia, c'erano delle lotte notevoli, perché si sottraevano a vicenda i dati, i fondi, eccetera, eccetera. Ora quelli di Trieste avevano un motivo serio per questa loro politica: loro non ricevevano fondi dallo Stato perciò dovevano ottenere i fondi degli stipendi dalla loro attività professionale, quelli di Venezia invece erano, come ho descritto, abbastanza giovani, raccogliticci.

E queste erano le due grosse entità nazionali. I laboratori di Napoli e di Genova, che avevano una lunga tradizione, erano quasi decaduti; andavano

bene per far chimica del mare, biologia del mare ma non per la fisica. Allora io ho provato a collaborare con questi laboratori, ma ho cominciato a raccontare delle cose che non potevano essere né chiare, né utili e solo dopo parecchio tempo sono riuscito a capire quale era una strada più ragionevole. Cioè, da un lato tirare fuori degli studenti, perché qui a Roma c'erano degli studenti molto bravi, contemporaneamente cercare di essere d'accordo con questi laboratori in modo tale da cercare di poter fare ricerca e di non crearmi inimicizie.

Dopo qualche anno mi arrivarono dei fondi, ben 6 milioni, cosa che non mi sarei mai aspettato, e me li portò Frassetto: era imprevedibile persino nel bene, perché il giorno che me lo vidi davanti e cominciai ad innervosirmi, lui mi rispose glaciale: "Beh, qui ci sono sei milioni, se volete lasciamo cadere tutto, sennò rimettiamoci calmi".

Con quei sei milioni potei pagare un po' di persone e fare altre spese di ricerca. E in realtà tutta l'attività che ho sempre avuto è stata un'attività, essenzialmente analoga a quella di un piccolo artigiano, che ha i ragazzi di bottega, delle altre persone che lo pagano e devi cercare di mandare avanti la bottega.

Ma tu eri dipendente del CNR?

INFN, sono sempre stato dell'INFN. Verso il quale posso solo avere della riconoscenza, anche se i responsabili dell'INFN hanno talvolta cercato di allontanarmi, cosa che io non volevo. Ho cercato di restare nell'INFN per un motivo: è vero che sarei stato un eretico, ma almeno non mi avrebbero rotto le scatole intenzionalmente, come ho visto fare altrove a danno di tante persone brave. In realtà mi accorsi subito che c'erano tante persone brave che lavoravano in Italia nella geofisica, e che di solito erano torturate per due motivi: prima di tutto perché non erano ignoranti come gli altri, e poi perché la loro bravura umiliava gli ignoranti raccomandati. C'era il famoso caso di Caloi, non so se tu, Bernardini, lo ricordi...

No!

Pietro Caloi era uno sicuramente molto bravo, lavorava all'Istituto Nazionale di Geofisica, sotto Enrico Medi. Con Caloi negli ultimissimi tempi ci eravamo parlati, mi aveva dato degli articoli, io ci avevo lavorato un po'. E una volta lui mi aveva mandato una lettera bellissima, parlando del 'genio italiano'... Avrei dovuto conservarla, invece queste cose ho preferito lasciarle da parte.

Essenzialmente io volevo far vedere che dal 1971 in poi esisteva una scuola

di Oceanografia, che c'erano dei ragazzi che seguivano un corso e delle esperienze di laboratorio, che poi eventualmente facevano la tesi. E con mia grande sorpresa, mentre l'ambiente nazionale mi ha isolato completamente, i professori delle varie università prendevano al volo i ragazzi che venivano da Roma. Perciò io ho potuto riempire mezza Italia di persone brave. Forse se io avessi avuto una politica differente, anche di maggiore ambizione personale, le cose sarebbero anche potute andare anche meglio, però io ero talmente preoccupato di tirare fuori dei ragazzi più o meno preparati che ho del tutto trascurato questo aspetto manageriale. E dopo ci ho anche rimesso con i soldi personali. Certo, sono anche venuti fuori dei bei lavori: solitoni e turbolenze a Messina [4], correnti dense nell'Adriatico [5], teorie di stabilità non lineare [6], dati da satellite [7].

Il corso lo hai iniziato quasi subito?

Vedi, il fatto è che in realtà l'atteggiamento di Amaldi era molto strano. Passato il primo momento di furia, con Amaldi si lavorò bene, però collaborava per tutte le cose che non servivano a niente. La cosa essenziale sarebbe stata di avere una o due o tre persone in questo Istituto, perché da tutti i punti di vista io pensavo di poter fare tante cose, ma sicuramente non tutto! E questo non è stato mai fatto, anche se Amaldi aveva tutte le caratteristiche organizzative, di potere accademico per poterlo far fare. Quando io volevo fare il corso di Oceanografia a Roma, lui ha detto: "No! Altrimenti poi fanno tutti Oceanografia". Insomma, l'ha scoraggiato decisamente! Ed io ero abbastanza stupido da dargli retta!

Dopo 4 o 5 anni io decisi lo stesso di fare il corso: lo chiesi all'Istituto, non so se lui fosse favorevole o contrario, ma poi il corso l'ho fatto. In questa maniera si tiravano su un 5 o 10 ragazzi all'anno, di cui 5 persone grosso modo facevano una tesi.

E tutto questo per me era essenziale, dato che c'era una grande richiesta nazionale di Oceanografi. E sono stati tirati su tanti ragazzi bravi; solo qualcuno, però, era bravissimo, anche per uno strano motivo. Se i ragazzi che erano interessati erano dei geofisici normali, di solito erano persone abbastanza umiliate dalla scala di valori dell'Istituto. Allora gran parte del mio lavoro era di restituire loro orgoglio nelle proprie capacità.

Ma quando sono arrivate due o tre persone con una media altissima, mi sono accorto che erano talmente vanitose da non collaborare: era come se pensassero che loro avrebbero saputo fare meglio di tutti gli altri, e non c'era il transfer usuale con il docente, con me. La mia maniera di cercare

di agire sull'intelligenza delle persone, anche di costruirla, gli 'rimbalzava', come si suol dire, si sentivano superiori. Perciò sono venute fuori anche delle situazioni spiacevoli.

Invece delle persone che avevano bisogno di maturare con il tempo, che avevano bisogno di essere guidate ed essere incoraggiate, queste hanno imparato bene. Perciò son contento del fatto che alcuni degli italiani più intelligenti che io conosca in Geofisica sono usciti da Roma, dalla mia stanza. Non proprio tutti, però numerosi!

Chi c'era tra quelli che stavano all' Istituto Nazionale di Geofisica?

Carlo Rovelli è uno dei miei – lo chiamavo 'levantino'. Era estremamente abile, però non mi sembrava un creativo.

Però ora è bravo, il più vicino al tema. E anche l'altro... Cocco.

Anche Massimo Cocco secondo me è bravo! Era molto brillante, però non era mio studente. Ha seguito bene il mio corso, ma non ha fatto la tesi con me. Ma lo ricordo come una persona notevole, capace di pensare. Dunque nell'Istituto Nazionale di Geofisica, dei miei ex studenti c'erano Rovelli, Arrigo Caserta, Meli. Bisogna capire che queste prime persone, quando sono andate all'Istituto Nazionale di Geofisica, hanno sofferto tantissimo.

Però ho avuto un paio di studenti brillanti di geologia o di vulcanologia, uno era Giuseppe Natale, un geologo siciliano che era scappato dalla Sicilia; era vivacissimo, un demonio! E ogni tanto qualcuno lo cercava per qualche casino, però era talmente strano ed intelligente che quando c'era lui le cose, anche le più complesse, si muovevano bene! Avevamo lavorato su un modellino di onde non lineari, di fluidi in rocce porose [8] e ancora adesso ci sono un sacco di risultati in questo campo! E poi ce ne era un altro, che mi aveva presentato Raffaello Trigila, era anche lui siciliano, Maurizio Battaglia.

È strano, ma tra le persone più brave che si sono laureate con me molti erano siciliani. Io ricorderei anche Salvatore Marullo all'ENEA, e Vincenzo Artale. Marullo è molto profondo ma non si impone, quasi si nasconde, il suo interesse è di essere bravo. Marullo in effetti è molto intelligente, Artale è più ricco di sfaccettature. Sì, è uno buono scientificamente, ma è anche un buon organizzatore è anche un burocrate-politico! Marullo è una cosa differente.

E poi c'è ancora tanta altra brava gente che ha riempito le lacune, i buchi culturali presenti in Italia, nel bene o nel male, spesso con molto lavoro, molta fatica, molte battaglie, molto sforzo.

16. *Ettore Salusti*

Qual era l'attività di ricerca che tu hai svolto in parallelo a questa azione di formazione?

All'inizio come teorico astratto ho cercato di fare temi oceanografici troppo astratti. Poi lentamente sono entrato sempre di più addentro a capire i dati. Solo che in Italia i dati non te li davano. Chi faceva delle misure diceva: "Le misure sono mie e basta!". Scoprii nel seguito i lavori di Vercelli, presi nel 1922 a Messina, e li interpretai alla luce di quello che si sa adesso, sulle onde interne, di turbolenza. Ho allora fatto una serie di lavori abbastanza fortunati, su cui i ragazzi si laureavano e lavoravano un po' successivamente. In questa maniera si è creato un filone di ricerca. Dopo ho provato a vedere



Figura 16.2: Lo stretto di Messina visto dal satellite. Nel suo punto più stretto le due coste distano 3 km. Sono visibili le correnti marine, i vortici e i venti (indicati dalle diverse sfumature di grigio), che causano le increspature della superficie marina (Immagine ESA dell'11 agosto 2004).

un po' i fenomeni presenti nelle isole Eolie, ma non ho trovato niente di particolarmente interessante. Poi si son studiate delle correnti di acqua fredda, generate dalla Bora nel nord Adriatico, che portavano acqua molto densa fino a Bari e poi andavano giù nella Fossa Sud Adriatica.

Però potevi fare delle campagne oceanografiche . . .

Sì, ho fatto delle campagne, perché uno dei gruppi che governavano l'Oceanografia italiana aveva detto che io potevo prendere la nave Oceanografica. E molti ragazzi hanno imparato così. Perché, se tu non vai in mare, l'Oceanografia non la impari!

Poi sono cambiati i gruppi di potere, erano persone meno simpatiche, avevo meno soldi e meno voglia di collaborare. Organizzare una campagna è un casino! Perché non c'erano gli strumenti, dovevi organizzare gli studenti, capire un po' quello che c'è da fare; poi c'è tutta la burocrazia. Se tu vedi un fenomeno strano e vuoi andare a vedere il seguito, ma non l'hai programmato prima, allora legalmente non puoi far nulla.

Quello che di solito fanno gli Oceanografi, è che decidono a tavolino quel che devono fare, ad esempio misure in località prefissate. Poi dopo studiano i risultati, mentre magari gli son passate sotto il naso delle cose fondamentali e neanche se ne sono accorti! Io ho cercato di fare le cose differenti, più ragionevoli, con risultati catastrofici, perché questi incaricati-burocrati non ci capivano niente. Loro vedevano come un pericolo, se non si seguivano ciecamente le loro regole burocratiche! Per esempio i responsabili del CNR avevano, giustamente, messo sulle navi degli strumenti che si chiamano "batisonde", da mettere in mare. Un capitano, che poi era anche un amico mio, scrisse formalmente una lettera critica, dicendo che le "batisonde" non sono strumenti a perdere. Ma se una nave costava dieci milioni/giorno, e una batisonda, diciamo, costava, cinque milioni, allora era meglio rischiare la batisonda piuttosto che tener la nave ferma. Però i fondi per una nave erano dati a priori nel budget del CNR, e si potevano sprecare benissimo. Quelli della batisonda invece erano del fondo di funzionamento delle navi, e i vari responsabili avevano allora dei momenti di preoccupazione, momenti quasi isterici su questi argomenti. E avevano anche qualche ragione. . .

Una volta a sud di Creta accadde una cosa stranissima. Una batisonda era stata calata a 3000 metri e stava risalendo a 500 metri. Il marinaio che controllava tutta la strumentazione vide come se qualcuno avesse tirato giù la batisonda nelle profondità del mare. Il cavo si ruppe e la batisonda a quel punto si inabissò veramente. Poi restammo con la nave per qualche giorno a

cercarla, ma le probabilità di trovarla davvero erano zero. E non si è capito in realtà cosa sia successo, può essere stato di tutto, può essere stato che il cavo si era teso perché aveva urtato qualcosa; qualcuno parlò addirittura di un sommergibile atomico russo. È anche possibile non credere a nessuna di queste idee. Insomma l'unica cosa certa è che ci si è giocata la batisonda.

Una volta mi avevi detto che avevi particolare interesse all'Adriatico come "lago" ...

Ma io non potevo bazzicarci troppo perché avrei avuto dei problemi molto seri.

Perché?

La quantità di soldi che giravano sull'Adriatico era notevole e c'erano dei gruppi molto organizzati, come quelli descritti prima. Ma, in un secondo momento, era diventato importante scientificamente il gruppo di Bologna, che allora aveva preso la strada di migliore qualificazione scientifica. C'era Puppi, che aveva formato un gruppo, che da un lato era guidato da Enzo Boschi e dai suoi esperti di sismica e vulcanologia, poi Boschi è stato messo a capo dell'Istituto Nazionale di Geofisica, e ha acquisito tutto il peso politico e scientifico che merita. E Antonio Speranza studiava benissimo la parte fluida del pianeta. A Roma invece, quella che potrei definire una certa mancanza di pianificazione, aveva messo tutto nelle mani di Giorgio Fiocco, dal 1970 in poi, ed era tutto rallentato. A Bologna invece fecero una geofisica buona, nel senso che Puppi stesso, Boschi e Speranza hanno formato dei gruppi molto validi, mostrando come avevano saputo rinnovarsi. Ricordo anche come Speranza avesse fatto, con Roberto Benzi, Alfonso Sutura e altre persone nel suo giro, un gruppo intorno al ministro Martelli ed è stato messo in una carica ministeriale, non so esattamente quale, da Martelli stesso poco prima che fosse allontanato dalla politica. Ora, da quel che so, Speranza nei ministeri lavora benissimo, perché sicuramente le cose le sa, è anche abile politicamente, è uno che si sa presentare, però non direi che è più uno che si mette lì a lavorare con i ragazzi, a fare una scuola.

Ad ogni modo, l'uomo per la dinamica liquida era Speranza, a Bologna e a Venezia ha fatto un gran bel lavoro e sono venute fuori tutta una serie di persone, brillanti, di scuola bolognese, e loro hanno continuato a organizzare, in parallelo a quel che si faceva a Roma, un gruppo di giovani, che poi è essenziale per poter mandare avanti le cose.

Rimangono da dire due cose. La prima riguarda la mia ricerca, e spero che sia ora chiaro che c'erano a Roma dei grossi limiti organizzativi.

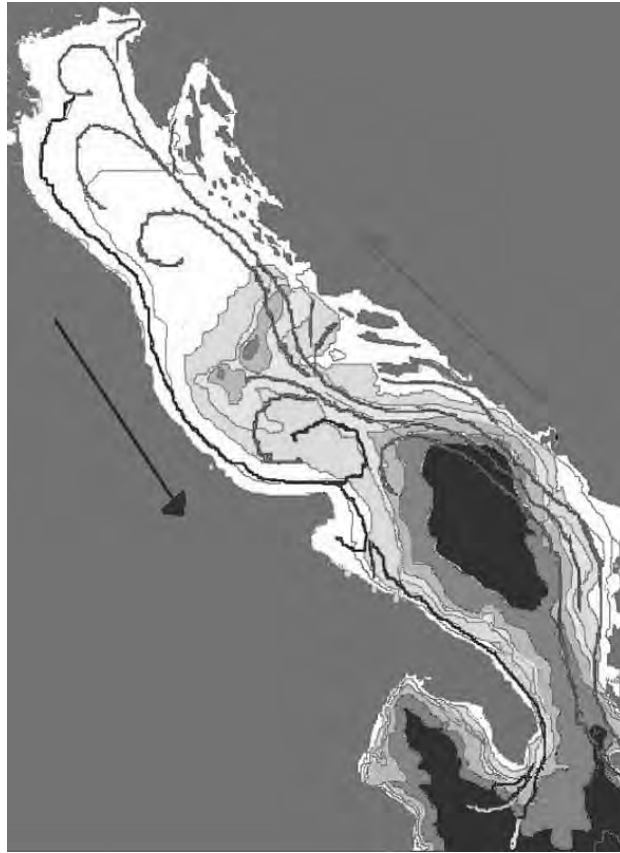


Figura 16.3: Correnti di superficie nel Mare Adriatico durante la stagione invernale (cortesia FAO e Adriamed).

Un laboratorio di Oceanografia ha bisogno assolutamente di tecnici molto specializzati, dei cartografi, degli elettronici, soprattutto ha un assoluto bisogno di tecnici di laboratorio, che sono bravissimi nel mandare avanti gli strumenti. Uno strumento può anche essere il risultato di un'idea geniale, tuttavia se ci si attaccano sopra le cozze, le alghe o cose di questo genere, lo strumento lo si butta. E perciò un tecnico di laboratorio, a volte, è più importante di qualunque altra cosa! Ovviamente di queste cose a Roma non ne avevamo. Né era pensabile ottenerne da laboratori poco attivi. Nel senso che erano gelosi e come, direi, spaventati a proposito del loro futuro. Oppure uno sarebbe potuto pure entrare in uno di quei laboratori tradizio-

nali, però si sarebbe involupato rapidamente nei loro giochi di decadenza e non avrebbe combinato un bel niente.

La teoria di Amaldi era stata di mandare avanti questo gruppetto di giovani, un po' usando una tecnica che poi ho letto su *Playboy*: "Promettile tutto, e regalale Arpège!", cioè un buon profumo. In realtà un minimo di soldi ce l'avevamo per andare avanti, erano persino un 5/6/7/10 milioni di lire/anno; i fondi che avevamo erano quelli giusti. Di più, in realtà non li volevo, nel senso che se avessi avuto delle grosse cifre, sui cento milioni all'anno, avrei avuto tutta una serie di avvoltoi che mi sarebbero girati intorno e questo avrebbe dato molte preoccupazioni. Invece, quando ne avevo venti o trenta riuscivo a mandare avanti gli studenti e io facevo il mestiere che mi piaceva. E facevo fare molte missioni anche a loro, con l'aiuto di Luciano Fiore che era un amministrativo di grande spirito collaborativo, di grande esperienza. E tutto andava avanti, in modo tale che questi ragazzi imparassero, girassero, vedessero quello che succedeva in Europa. E poi avrebbero potuto trovare qualche collaborazione in uno di quei laboratori depressi nazionali e col tempo avrebbero potuto riempire i buchi culturali e organizzativi, facendo leva sulla loro capacità e sulla loro sofferenza.

Con il tempo la mia attività diventò abbastanza efficiente, un giorno io scrissi ad Amaldi e gli dissi: "Ma che facciamo?" Al che lui capì che io ero senza un futuro, e cercò di trovarmi una cattedra. Morale della favola, sono passati 15 anni e la cattedra non ce l'ho. Anche se io avrò sicuramente difetti, a sentire Amaldi io avevo fatto un buon lavoro nell'interesse nazionale, però ovviamente i fisici di Roma mi filavano poco, gli Oceanografi mi vedevano come il fumo negli occhi. Perciò, adesso sono arrivato ad essere un bel vecchio "accattone" che non è né dentro, né fuori, né niente!

Però la ricerca che abbiamo fatto era buona, come onde interne, correnti di densità, dati satellitari e come correlazione tra questi dati; insomma, nell'ambito nazionale depresso c'era a Roma qualche cosa che esisteva!

Ci sono stati anche dei tentativi verso vulcanologia: in quel campo ci sono anche dei problemi che riguardano i fluidi. E appunto ci sono state delle persone giovani, esperte in questi nuovi campi, che però sono dovute andare in America e in Giappone. Nel senso che i Vulcanologi o i Geofisici sono probabilmente ancora più chiusi degli Oceanografi.

A me è poi successa una cosa bizzarra: io avevo trovato un modellino di Bonafede – che forse è il ricercatore migliore degli italiani – un modello di due equazioni di calore accoppiate "non-linearmente". Allora abbiamo

incominciato, Maurizio Bonafede ed io, a studiarla per vedere di trovare le soluzioni analitiche di quei problemi. Un giorno Bonafede mi manda una lettera dicendo che “Non è opportuno che io continui. . .”.

OK! . . . Poi però ho cominciato a chiedermi: “Come mai uno che sta facendo una ricerca che sta andando bene e che è un miglioramento delle sue idee, come mai lascia tutto in modo così improvviso?” E acidamente ho pensato che qualcuno di alto livello gli avesse sconsigliato di fare un gruppo di teorici a Roma, per evitare di avere dei concorrenti al gruppo di Bologna. Ad ogni modo, le cose sono andate avanti, Bonafede ha fatto questi modellini lineari, io li ho fatti non-lineari. Poi una volta li mandai ad una rivista inglese molto buona ed uno dei *referees*, acidissimo, trovò degli errori che in realtà non erano errori, l’articolo era corretto. Contemporaneamente mi arrivò un articolo di Bonafede su una versione lineare dello stesso argomento, ed io per correttezza informai il direttore della rivista inglese, e questo si inquietò terribilmente perché risultò che il *referee* che si era inventato degli errori per fermare il mio articolo, era appunto un bolognese!

Questo è stato l’unico caso in cui, per la correttezza del direttore inglese, un certo comportamento poco simpatico è venuto alla superficie. Io ho la sensazione che dietro alle mie spalle ci siano state molte chiacchiere e anche atti poco corretti.

Direi che questo è tutto per quello che riguarda la mia ricerca, ma direi un’ultima cosa che riguarda l’Istituto Marconi, di Roma. Secondo me, l’Istituto ha perso una grossa occasione nel senso che nel 1971 Amaldi convinse tutti che era opportuno puntare sulla geofisica della Terra Solida e della Terra Fluida. In pratica allora furono chiamati come cattedratici Michele Caputo, Franco Mariani e Giorgio Fiocco. Mariani dopo un po’ se ne andò, Caputo ebbe la responsabilità dell’ING, e dopo un po’ si spostò in America, e rimase Fiocco. Questi è sicuramente un uomo di notevole intelligenza e di notevole cultura, però non ha saputo legare con il resto dell’Istituto.

In questa situazione nell’Istituto non si è formato un nucleo vivace, che producesse una scuola e costruisse con dei giovani un futuro di ricerca.

Bibliografia

- [1] E. Salusti, On the quasi particle method in nuclear spectroscopy, 1965, *Nuovo Cimento* 37, 199.

- [2] E. Salusti, A. Tesei, On a semi-group approach to a quantum field equations - 1971, *Nuovo Cimento* 1 (2 A), 351.
- [3] E. Salusti, F. Zirilli, On the time dependent armonic oscillator, 1970, *Lettere Nuovo Cimento* IV 21, 999.
- [4] W. Alpers, E. Salusti, Scylla and Charybdis observed from space, 1983, *Journal of Geophysical Research* 88, 1800; V. Artale, D. Levi, E. Salusti, F. Zirilli, On the generation of internal solitary marine waves, 1984, *Nuovo Cimento* 3 (C7), 365; T. Hopkins, E. Salusti, D. Settimi, Tidal forcing of the water mass interface in the Strait of Messina, 1984, *Jour of Geophys. Res.* 89 (C2), 2013-2024; A. di Sarra, A. Pace, E. Salusti, Long internal waves and columnar disturbances in the Strait of Messina, 1987, *Journal of Geophysical Research* 92 (C6), 6495-6500; A. Guardiani, G. Pace, E. Salusti, Preliminary observations of turbulence due to the collapse of internal solitary waves in the Gulf of Gioia, north the Strait of Messina, 1988, *BOTA*, VI, 1, 1-14; A. Adragna, E. Salusti, Observation of small scale shelf-trapped dipola vortices near the Eastern Sicilian coast, 1990, *Journal of Physical Oceanography* 20 (7), 1105-1112; F. Bignami and E. Salusti, in L. J. Pratt (ed.), *The physical oceanography of sea strait: tidal currents and transient phenomena in the Strait of Messina: a review*, 95-124, 1990, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- [5] L. Zoccolotti, E. Salusti, Observations of a vein of very dense marine water in the Southern Adriatic Sea, 1987, *Continental Shelf Research*, 7 (6), 535-551; A. Artegiani, E. Salusti, Field observation of the flow of dense water on the bottom of the Adriatic sea during the winter of 1981, 1987, *Oceanologica Acta* 10 (4), 387-392; F. Bignami, A. Rotundi, E. Salusti, E. Zambianchi, A challenge to ocean modellers: fall and mixing of bottom currents flowing over the shelf into a deep canyon, 1988, *Ocean Modelling* 77, 1-3; A. Artegiani, R. Azzolini, E. Salusti, On the dense water in the Adriatic Sea, 1989, *Oceanologica Acta* 12, 2, 151-160; F. Bignami, G. Mattiotti, A. Rotundi, E. Salusti, On a Sugimoto-Whitehead effect in the Mediterranean Sea: fall and mixing of a bottom current in the Bari conyon, Southern Adriatic Sea, 1990, *Deep Sea Research* 37 (4), 657-665; F. Bignami, E. Salusti, S. Schiarini, Observation on a bottom vein of dense water in the Southern Adriatic and Ionian Seas, 1990, *Journal of Geophysical Research*, 95 (C5), 7249-7259; B. Buongiorno Nardelli, E. Salusti, On Dense Water Formation Criteria and their application to the Mediterranean Sea, 2000, I 47 *Deep Sea Research* 193-221.
- [6] R. Benzi, E. Salusti, A. Sutura - Variational approach to gravity waves in terms of streamfunction, 1979, *Journal of Physical Oceanography* 9, 3, 620; R. Benzi, S. Pierini, E. Salusti, A. Vulpiani, On nonlinear hydrodynamic stability of planetary vortices, 1982, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics* 20, 293; R. Purini, E. Salusti, Nonlinear hydrodynamic stability of ocean flows, 1984, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics* 30, 261-270; V. Artale, E. Salusti, Hydrodynamic stability of rotational gravity waves, 1984, *Physical Review A*, 29, 2787 ed anche un Erratum; V. Artale, E. Salusti, R. Santoleri, Lyapunov stability of solitary rotational water waves,

- 1986, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics* 37, 237-251; E. Salusti, F. Zirilli, A Large class of non-zonal oceanic flows satisfying the Arnold-Blumen sufficient conditions for stability, 1986, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics* 35, 157-171; S. Caprino, E. Salusti - Stability of oceanic eddies as vortex patches, 1986, *Ocean Modelling* 3, 243; E. Salusti, F. Zirilli, Symmetries of the Arnold Lyapunov method in hydrodynamic stability of geophysical flows, 1988, *Ocean Modelling* 76, 1-4.
- [7] L. Nicolò, E. Salusti, Field and satellite observation of large amplitude internal tidal wave trains South of the Strait of Messina, Mediterranean Sea, 1991, *Ann. Geoph.* 9, 534-539; E. Bohm, E. Salusti, F. Travaglioni, Satellite and field observations of shelf currents off Cape Santa Maria di Leuca, Southern Italy, 1986, *Oceanologica Acta* 9 (1), 41-46; A. Sapia, E. Salusti, Observation of nonlinear internal solitary wave trains at the northern and southern mouths of the Strait of Messina, 1987, *Deep Sea Research* 34 (7), 1087-1092; A. Perilli, V. Rupolo, E. Salusti, Satellite field observation of an eddy in Central Tyrrhenian Sea, 1995, *J. Geoph. Res.* 100 (C2) 2487-2499; E. Salusti, Satellite images of upwellings and cold filament dynamics as transient effects of violent air-sea interactions downstream from the Island of Sardinia, 1998, *Jour Geophys. Res.* 103 (C2) 3013-3031.
- [8] A. Merlani, G. Natale, E. Salusti, Pressure and Temperature Dynamics in Fluid-Saturated Porous-Permeable Rocks, 1996, *Physica D* 90, 154-169; G. Natale, E. Salusti, Transient solutions for temperature and pressure waves in fluid-saturated porous rocks, 1996, *Geoph. Journ. Int.* 124, 649-656; A. Merlani, G. Natale, E. Salusti, On the theory of pressure and temperature non-linear waves, 1997, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics* 85, 97-128; E. Salusti, A. Troisi, Fracturing processes related to nonlinear heat and pressurewaves in fluid saturated porous rocks, in Moscow Europrobe meeting, *Upper mantle heterogeneities from active and passive seismology*, K. Fuchs editor, Kluwer, Amsterdam, 1997, 113-121; G. Natale, E. Salusti, A. Troisi, Rock deformation and fracturing processes, 1998, *Jour. Geoph. Res.* 103 (B7), 15325-15338; A. Merlani, G. Natale, E. Salusti, Fracturing processes due to temperature and pressure nonlinear waves propagating in fluid-saturated porous systems, 2001, *Jour. Geoph. Res.* 106, 6, 11067-11081.

Capitolo 17

Carlo Di Castro

Nato a Roma il 14 agosto 1937, Carlo Di Castro è sposato con Franca Tagliacozzo e ha due figlie. Si è laureato con lode presso l'Università di Roma nel novembre 1961 con una tesi sull'elio superfluido. Ha conseguito il Ph.D. in Fisica matematica presso l'Università di Birmingham nel luglio 1964 con una tesi sul comportamento dei film superconduttivi con John G. Valatin nel Dipartimento di Rudolf E. Peierls. Ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare dal 1964 al 1969, nel 1970 ha preso la libera docenza in Istituzioni di Fisica Teorica all'Università di Roma "La Sapienza", dove è stato professore incaricato prima e assistente ordinario successivamente (1969–1976). Professore straordinario di Struttura della materia presso l'Università dell'Aquila (1976–78), è stato anche preside della Facoltà di Scienze. Dal 1978 viene chiamato all'Università di Roma "La Sapienza" dove attualmente è ordinario di Meccanica statistica. Ha trascorso soggiorni di ricerca presso varie università ed istituti stranieri ed è stato chiamato a tenere numerose relazioni su invito a workshop ed a congressi internazionali sia specialistici che generali. Ha tenuto corsi presso scuole di dottorato e scuole estive internazionali sulla fisica dei superfluidi e dei superconduttori, sulle transizioni di fase ed il gruppo di rinormalizzazione, sulla teoria dei molti corpi e la fisica dei sistemi disordinati, sui sistemi elettronici fortemente correlati e superconduttori ad alta temperatura. È stato membro della commissione IUPAP Condensed Matter Physics dal 1993 al 1996. Ha organizzato ed è stato membro del "Program and Advisory Committee" di varie conferenze internazionali (meccanica statistica, teoria dei molti corpi, fisica della materia condensata, sistemi elettronici fortemente correlati, superconduttività ad alta temperatura). Ha curato la pubblicazione di volumi di rendiconti.

È autore di 150 pubblicazioni scientifiche su: teoria dei molti corpi, superfluidità e superconduttività, fenomeni critici, transizioni di fase e gruppo di rinormalizzazio-

ne applicato alla fisica degli stati aggregati, gruppo di rinormalizzazione in sistemi quantistici, sistemi elettronici fortemente correlati ed isolanti di Mott, transizione metallo-isolante e fenomeni di trasporto, sistemi disordinati e transizione di localizzazione di Anderson, effetti di interazione in sistemi elettronici disordinati, superconduttori ad alta temperatura, liquidi di Fermi e di Bose, fasi metalliche “non Fermi-liquid”, separazione di fase frustrata e meccanismi di superconduttività. È socio corrispondente dell’Accademia Nazionale dei Lincei dal luglio 1997. Gli sono stati conferiti (dal Presidente della Repubblica) la medaglia d’oro e il diploma di prima classe riservati ai benemeriti della scuola e della cultura nel 2003 e il Premio Humboldt nell’aprile 2004.

17.1 La prima formazione culturale

*Cominciamo dall’inizio, da quando sei nato...*¹

Sono nato a Roma da una famiglia ebrea romana il 14 agosto del 1937 proprio nel periodo in cui da una situazione di benessere, a causa delle leggi razziste del 1938 [1], si passa ad uno stato di difficoltà e di totale incertezza. Mio padre, giovane architetto di 38 anni già affermato, viene cancellato dall’albo professionale [2] e si trova con tre figli a dover riorganizzare la sua vita con lavori provvisori e arrangiati, sempre sottoposto a possibili ricatti. Ovviamente l’inizio della mia vita di bimbo in una famiglia lieta la indovino da alcune fotografie insieme ai miei genitori e ai miei due fratelli più grandi. Una sorella nascerà subito dopo la guerra come segno di rinascita della mia famiglia.

I primi miei ricordi diretti sono di un bambino cresciuto anzitempo, carico di responsabilità, pensoso sui destini dell’umanità. Infatti, in un crescendo, da un periodo di difficoltà e incertezza, dovuto alle leggi razziste, con l’occupazione nazista si passa alla paura e all’angoscia per la sussistenza e la vita. A sei anni si deve fuggire dalla propria casa, entrare nella clandestinità e imparare a tacere il proprio nome per sostituirlo con un nome falso sotto l’incubo di eventualità terribili e con il costante timore che cugini della tua stessa età possano non essere altrettanto responsabili e tradirti. Nonostante la serena e forte presenza di mia madre in quel periodo si è creata la figura dell’orco, l’orco delle favole che per me era però nella realtà delle cose. Questo peso ovviamente condiziona tutta la vita. Mi ricordo ad esempio, dopo la liberazione di Roma, la prima volta che sono entrato in

¹Incontro avvenuto il 2 marzo 2006 nello studio di Carlo Di Castro, Dipartimento di Fisica dell’Università di Roma “La Sapienza”.



Figura 17.1: Leone, Marcello e Carlo (nell'automobile) con il padre Angelo Di Castro e la madre Emilia Sabbadini, nel 1939.

una scuola: ero tutto solo in un'aula immensa della scuola Pestalozzi vicino casa a via Montebello per sostenere con insegnanti sconosciuti l'esame di ammissione alla seconda elementare, perché non avevo potuto frequentare la prima. Se è stato per me pesante non essere potuto andare a scuola regolarmente, ho sempre pensato cosa debba essere stato per i miei fratelli più grandi esserne cacciati. Da allora permane l'idea che qualche cosa di oscuro possa incombere sulla vita, anche se, nel corso degli anni, credo di aver reagito a questa idea del caso incombente con la ferma convinzione che la paura di quello che ti circonda, la paura dell'incognito, debba essere superata attraverso la conoscenza.

Per esempio, se vado indietro nel tempo forse non è solo un caso che da ragazzino alle medie mi sono iscritto alla sezione di tedesco della scuola Tasso, dove poi ho proseguito i miei studi fino alla maturità classica. L'acquisizione del tedesco forse era l'elemento per conoscere la bestia che mi aveva aggredito da bambino e tentare di superare la paura. Da allora credo di aver sempre tentato di ricomporre l'angoscia attraverso la conoscenza, attraverso l'eliminazione dell'incognito e la ricomposizione razionale del sapere.

Devo dire che da ragazzo l'esigenza di razionalizzare gli aspetti della vita è stata un elemento positivo anche per avvicinarmi all'ebraismo in modo

attivo e non solo per acquiescenza alla tradizione familiare. Dovevo capire questa etichetta che “gli altri” consideravano così spregevole e che era stata così terribile per la mia infanzia. Non mi bastava più che fosse l’alveo naturale della mia famiglia, mio, dei miei fratelli e dei miei numerosi cugini Sabbadini con i quali ho convissuto fino a diciotto anni nello stesso stabile a via Castelfidardo, che, insieme al tempio di via Balbo dove compatti ci recavamo, costituiva la nostra isola di sicurezza. Dell’ebraismo selezionai e mi costruii una mia visione laica con una impostazione metafisica in cui non c’era posto per l’irrazionalità religiosa. Nell’ebraismo è dominante l’idea dell’assoluta trascendenza ed unicità di Dio. Nella sua assoluta trascendenza, Dio non può essere confuso con la sua creazione e quindi l’uomo è libero di investigare la natura nella ricerca incessante di segni e tracce lasciate dal Creatore, senza che queste testimonianze possano essere confuse con l’Essere e adorate al suo posto. Il contatto tra Dio e l’uomo avviene attraverso la morale, l’etica. Dio dà all’uomo le leggi, perché con esse possa vivere amando il Signore con tutto il cuore, con tutta l’anima, con tutte le facoltà [3], in una ricomposizione unitaria, ad immagine dell’Unità divina, della molteplicità dei vari aspetti della vita e delle pulsioni che ha in sé che non vanno negate come male ed esorcizzate come peccato. Scienza e religione non entrano in conflitto purché lette in modo corretto. Compito della religione è individuare gli scopi e le aspirazioni umane, ma la religione non deve intervenire sul piano della conoscenza con tentativi di spiegazioni irrazionali dell’incognito, né con la concezione di un Dio salvifico, distributore di premi e di castighi. La ricomposizione razionale dei diversi aspetti della natura da parte degli uomini, liberi da dogmi, e la ricostruzione unitaria del sapere sono alla base della ricerca scientifica, ma anche l’insegnamento che può venire dall’ebraismo. La paura dell’incognito è così superata. Se i fenomeni appaiono non spiegabili o non prevedibili, ciò dipende dalla complessità dei fattori che intervengono nella loro determinazione e non perché dietro di questi si nasconde il male, l’inferno da esorcizzare. Si tratta di aspettare tempi adatti e individuare modi nuovi necessari per la loro interpretazione. D’altro canto nell’ebraismo una concezione lineare del tempo, con un suo inizio ed un’evoluzione escatologica in contrapposizione ad una ciclicità, implica una fede costante nel progresso.

Nell’Italia della ricostruzione degli anni ’50, infinite furono le discussioni tra noi ragazzi ebrei nella rinata Federazione Giovanile Ebraica Italiana, sul nostro giornale *Ha-Tikvâ*, e con i ragazzi delle associazioni cattoliche durante



Figura 17.2: Carlo Di Castro e Enrico Modigliani al Congresso della Federazione Giovanile Ebraica Italiana. Firenze, dicembre 1958.

le quali rivendicavamo un ruolo vivo e attuale dell'ebraismo a cui dopo tanta infamia andava ridata dignità propositiva. Si dibatteva aspramente, ma con vero interesse, se nel passaggio dall'ebraismo al cristianesimo, l'umanizzazione del Dio trascendente avesse comportato la divinizzazione dell'uomo e una conseguente negazione, molto spiccata in alcuni periodi, della sua parte materiale come male, come peccato. Riproponevamo come elemento chiave di modernità, la ricomposizione unitaria da parte dell'uomo delle proprie tendenze nella sua vita terrena ad immagine dell'Unità divina, che si era invece frantumata nella Trinità. Il Dio umanizzato non è più al di sopra dell'attività umana e al di fuori della pratica conoscitiva che diventa così ancella della credenza e non più libera. La riconquista della propria libertà anche dalla paura e dal male, avviene attraverso una acquisizione della conoscenza senza dogmi e ricomposizione della propria personalità. Questo era il periodo del mio liceo, della mia formazione culturale più umanistica, filosofica e artistica.

Quali sono state le letture importanti per questa tua formazione?

Se devo pensare a dei libri di riferimento, oltre al Pentateuco, al Vangelo, ai saggi sull'ebraismo che vanno dalla riaffermazione della tradizione con Dante Lattes, al misticismo "razionale" di Alfonso Pacifici [3], alle innovazioni universalistiche di Leo Baeck che davano nuovo volto alla tradizione, nuovo linguaggio al vecchio pensiero, mi vengono in mente i classici della filosofia:

dalla metafisica aristotelica al Kant della Ragione pratica, al Marx delle opere filosofiche, che rendevano inessenziale la metafisica nel ragionamento filosofico mentre l'ebraismo con l'assoluta trascendenza ne evitava contaminazioni con la conoscenza. L'arte figurativa nella mia famiglia aveva un ruolo speciale. Oltre all'architettura che respiravo nello studio di mio padre dove mi soffermavo a sfogliare le riviste, mi tornano in mente libri come *I pittori italiani del rinascimento* di B. Berenson [4] dove ho imparato ad amare Masaccio o il testo di Longhi su Piero della Francesca [5], il mio pittore preferito. In quel periodo comincia anche la mia vita in comune con Franca Tagliacozzo, che mi insegna i valori di una cultura profondamente laica.

17.2 Fisica: una scelta combattuta

Nell'ambito di questo percorso, come nasce la scelta della fisica?

In effetti, ero incerto tra filosofia e fisica. La fisica mi incuriosiva perché era un mondo che non faceva parte della mia formazione prettamente umanistica, ma sicuramente rientrava nel quadro del mio desiderio di conoscenza. Nell'estate dopo la maturità mi dedicai allo studio della matematica leggendo un libro uscito in edizione italiana in quegli anni, *Che cosa è la matematica* di R. Courant e H. Robbins [6] e mi avvicinai alla divulgazione della fisica. Ero così presuntuoso da considerare inadeguata, data la mia presunta cultura umanistica e filosofica, la scuola di filosofia a Roma nel suo idealismo imperante; né negli anni '50 si poteva pensare di andare a fare l'università all'estero. Quindi ho deciso di indirizzarmi verso gli studi scientifici perché era un mondo che mi incuriosiva e che non conoscevo. Mio padre però non era favorevole alle mie scelte originarie di filosofia o di fisica, ritenendole entrambe poco pratiche. Le sue pressioni erano solo di carattere psicologico, con allusioni e non ingiunzioni, ma per me ragazzo ligo furono sufficienti per pervenire al compromesso di iscrivermi ad ingegneria. Il biennio di ingegneria a quei tempi era in comune con i fisici ed i matematici. Le aule di matematica erano stracolme. Ci dovevamo portare degli sgabelli pieghevoli per assicurarci dei posti decenti per ascoltare le lezioni di analisi di Aldo Ghizzetti, un po' piatte ma precise e chiare, e le belle lezioni di geometria di Enrico Bompiani. Bompiani ci aveva accolto dicendoci che ovviamente chi veniva dal classico non sapeva nulla di matematica ed andava bene così, ma chi veniva dallo scientifico era pregato di

dimenticare tutto ciò che pensava di sapere. Mi ricordo che i primi mesi ero piuttosto frastornato da questo nuovo mondo che mi si presentava, ma poi riuscii ad entrarci e ne fui affascinato. A questo proposito mi domando sempre come facciano i nostri ragazzi ora che hanno questi corsi in sequenza così rapida, ad entrare in una disciplina che richiede tempi adeguati di maturazione. Fui affascinato dal nuovo linguaggio. Più che un linguaggio, era una costruzione logica con la quale si poteva affrontare la soluzione di problemi. Contemporaneamente ci veniva introdotta la fisica.

Chi erano i tuoi insegnanti di fisica?

Feci Fisica generale al primo anno e al secondo anno con Giorgio Salvini. Ci si avvicinava alla scienza sperimentale e contemporaneamente avevamo le esercitazioni pratiche. Ci rendevamo conto di quali fossero i limiti e le connessioni tra la estrapolazione matematica del ragionamento e la misura effettiva con implicazioni mai nemmeno accennate negli studi precedenti, contrariamente a ciò che avviene nel mondo anglosassone. Finito per tempo il biennio di ingegneria ebbi la fortuna, o la sfortuna per mio padre, che all'inizio dell'anno accademico, allora a novembre, le lezioni ad ingegneria non cominciavano mai. Iniziai a frequentare le lezioni a fisica e a quel punto chiesi il passaggio di facoltà e rimasi a fisica. Qui si presenta un punto importante della mia formazione. Mario Ageno che era nella commissione per il passaggio da ingegneria a fisica, pur avendo io una media piuttosto alta, per convalidarmi l'esame di Fisica generale del primo anno, per il quale avevo un voto che non ricordo, ma certamente inferiore ai miei standard, mi richiese un colloquio sulla termodinamica. Per cui io approfondii la termodinamica e ne rimasi colpito perché è una teoria fenomenologica basata sull'esperienza, da cui deriva i suoi principi con una logica ferrea senza possibilità di entrare in contraddizione. L'unico esempio a posteriori che ho trovato di scienza di questo tipo è la relatività ristretta. Anche in questo caso Einstein si serve dei dati osservativi che vengono sottoposti ad una analisi serrata e quindi costruisce la teoria in modo coerente all'interno di questa analisi. L'altro aspetto affascinante della termodinamica, che poi è rimasto uno dei riferimenti centrali della mia ricerca, è l'idea che purché sia fatta la scelta adeguata al problema in studio, si riesce a descrivere il comportamento della materia attraverso poche variabili. Ci deve essere quindi un riduzionismo intrinseco che, partendo dalla descrizione di un sistema in termini dei suoi innumerevoli costituenti elementari, che possono di volta in volta essere le molecole, gli atomi, gli elettroni. . . , permetta di arrivare alla

descrizione delle sue proprietà macroscopiche in termini di poche variabili rilevanti.

Cominciai così ad interessarmi alla meccanica statistica e alla fisica teorica della materia condensata, argomenti che allora a Roma come ricerca erano ignorati. Tutti erano impegnati nella fisica delle particelle elementari.

In che anno siamo, a questo punto?

Siamo alla fine degli anni '50. Il corso di meccanica statistica era tenuto da Bruno Touschek che era geniale e quindi sicuramente stimolante. La meccanica statistica però non era la sua materia ed il suo corso era basato sul classico libricino di E. Schrödinger, *Statistical Thermodynamics* [7]. Poi improvvisava su alcuni argomenti specifici, non insegnandoci il mestiere di meccanico statistico in senso stretto, ma come il fisico teorico debba affrontare i singoli problemi con immaginazione, tecnica ed entusiasmo. In quel periodo la fisica teorica la insegnava Enrico Persico, che ha avuto dei grandi meriti per quanto riguarda la didattica a Roma. Tuttavia nei suoi sforzi di essere semplice e lineare forse limitava troppo gli argomenti e nell'insegnare la meccanica quantistica in quegli anni si fermava alla meccanica ondulatoria. Appresi dopo la meccanica quantistica come disciplina organizzata con il libro di Dirac [8], che avevo scoperto e studiato insieme a Marzio Cassandro. Era anche il periodo in cui in istituto eravamo per gran parte del tempo impegnati ad imparare l'elettronica a valvole già obsoleta (il transistor è del 1947). La seconda parte del nostro curriculum di studenti di fisica era perciò in qualche modo carente, lontano da quella che era la frontiera della ricerca. Per le particelle elementari il recupero avveniva durante la tesi. Nei miei ricordi il corso di Marcello Cini, in cui venivano introdotte le relazioni di dispersione e la teoria dello scattering, ci appariva avanzatissimo. Devo dire che se la didattica del secondo biennio era allora carente, la ricerca, sotto la spinta di Amaldi, invece funzionava bene.

Ovviamente esisteva anche un problema di eredità culturale. In Italia non c'era mai stata una grande tradizione di ricerca nella fisica della materia condensata e nella meccanica statistica.

Tuttavia penso che con la scuola di Fermi anche queste discipline si sarebbero sicuramente sviluppate. Con la dittatura fascista (le leggi razziste del '38, la guerra. . .) la fisica italiana era stata distrutta e in Italia era rimasto solo Amaldi con l'arduo compito di ricostruire la fisica nel dopoguerra: era ovvio che i giovani bravi si dedicassero alla fisica del momento, le particelle elementari. Quindi a Roma non c'era assolutamente niente che corrispon-

desse ai miei interessi maturati verso la fisica della materia condensata e della meccanica statistica.

17.3 Una tesi sull'elio superfluido

Quindi ormai i tuoi interessi si erano orientati in una certa direzione . . .

Si, e avendo scelto di fare una tesi in fisica teorica, andai da Marcello Cini, che, non occupandosi del campo da me preferito, mi disse che non poteva suggerirmi un argomento specifico su cui lavorare, e che tuttavia sarebbe presto venuto a Roma da Padova Giorgio Careri, che si occupava sperimentalmente dell'elio superfluido.

Effettivamente Careri si occupava da tempo di temi inediti per l'ambiente romano: nel 1957 aveva organizzato un convegno internazionale sugli stati condensati della materia, a Varenna, dove poi, nell'estate del 1961, organizzò anche una scuola sull'elio liquido. Con il suo gruppo aveva fatto alcuni esperimenti che erano in perfetto accordo con il modello di elio rotante elaborato da Feynman.

Cini mi suggerì appunto di cominciare a studiare la superfluidità. Scoprii che nella superfluidità la meccanica statistica si coniuga con la meccanica quantistica. In un superfluido il trasporto di materia avviene con un moto complessivo ordinato senza dissipazione e le singole particelle devono essere coerentemente organizzate in un singolo stato, cosa che gli atomi di elio possono fare perché soddisfano alla statistica di Bose–Einstein, che permette a più particelle a spin intero di occupare lo stesso stato. Questa coerenza globale trasferisce a livello macroscopico le proprietà quantistiche dello stato di particella singola. Iniziai a cercarmi un argomento per la tesi. Nel 1947 N. N. Bogolubov [9] aveva introdotto un semplice modello di superfluido trasferendo al caso di bosoni interagenti la proprietà di condensazione di un gas di bosoni. Nel 1957, dopo decenni dalla sua scoperta, era stata spiegata la superconduttività con la teoria BCS [10] (dalle iniziali degli autori Bardeen, Cooper e Schrieffer). Nel caso dell'elio il trasporto di materia avviene senza viscosità per temperature inferiori alla temperatura critica (2.17 gradi Kelvin). In modo analogo, nei superconduttori il trasporto di carica avviene senza effetto resistivo per temperature sotto la temperatura critica (specifica per ciascun materiale e dell'ordine di una decina di Kelvin per i superconduttori allora noti). Ma gli elettroni che trasportano la cor-

rente sono fermioni, particelle a spin semintero, per i quali vale il principio di esclusione di Pauli, per cui non più di un elettrone può occupare lo stesso stato. La teoria BCS prevede che al di sotto di una certa temperatura gli elettroni possano accoppiarsi e poi condensare come i bosoni. Decisi allora per la tesi di estendere il modello di Bogolubov introducendo l'interazione di coppia anche per i bosoni. Con mia sorpresa mentre l'approssimazione molto semplice di Bogoliubov portava alla forma corretta delle eccitazioni dallo stato fondamentale per l'Elio, dello stesso tipo delle eccitazioni elastiche nei solidi cristallini, i fononi, la mia correzione introduceva un salto di energia tra lo stato fondamentale ed il primo livello eccitato. Il mio relatore era Cini e il mio contro-relatore era Touschek, il quale mi restituì la tesi con sopra scritto nel suo italgoermanico "Con complimenti del avvocato del diavolo". Mentre stavo facendo la tesi tornò Gianni Jona-Lasinio da Chicago, dove aveva fatto con Yoichiro Nambu il suo famoso lavoro sulla rottura spontanea di simmetria. Ho incominciato ovviamente a discutere con lui molto intensamente e a riceverne continui consigli.

Vi conoscevate già?

No, ci siamo conosciuti in quel periodo ed è iniziato un rapporto molto stretto di collaborazione e di amicizia che si è protratta negli anni, anche se i nostri diversi gusti nella ricerca successivamente hanno portato lui verso la fisica matematica e la meccanica statistica pura e me verso la materia condensata e la teoria dei molti corpi.

In quel periodo incominciammo a tentare di capire cosa non andasse nell'approssimazione di coppia per bosoni. Ma, a parte questo, un giorno Gianni, di ritorno dalla biblioteca, mi annunciò che risultati simili al mio lavoro di tesi erano già apparsi sul *Physical Review* [11]. Anche se non poteva essere pubblicato, il mio lavoro di tesi servì allo scopo di introdurre nella fisica teorica del nostro istituto un campo che con la venuta di Careri aveva acquisito una grossa presenza sperimentale e che è rimasto sempre presente nella mia attività. Nell'estate del '61 ancora non laureato (mi sono laureato in autunno) andai alla scuola di Varenna per frequentare il corso sull'elio superfluido organizzato da Careri [12]. C'erano tutti i fisici che avevano avuto un certo peso nella evoluzione della fisica del superfluidi e tra questi c'era G. V. Chester con il quale parlai della mia tesi. Lui mi disse che a Birmingham nel dipartimento di Rudolf E. Peierls, dove lui stava, John G. Valatin aveva trovato una soluzione dell'approssimazione di coppia con eccitazioni senza salto in energia. In effetti, come capii dopo, il suo approccio

non era coerente. Chester mi disse di andare a fare il dottorato da loro. In quegli anni Amaldi ebbe la lungimiranza di mandare noi ragazzi con borse dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ad imparare all'estero il mestiere in campi diversi dalla fisica delle particelle elementari.



Figura 17.3: Varenna 1961, Scuola sull'Elio liquido organizzata da Giorgio Careri (cortesia Società Italiana di Fisica).

17.4 Il dottorato a Birmingham e il ritorno a Roma

Io partii per Birmingham e Gianni continuò l'analisi del problema dei bosoni interagenti con due nuovi laureandi, Ferdinando De Pasquale e Eugenio Tabet. Trovarono che l'approssimazione di coppie nei bosoni violava le leggi di conservazione e per questo si otteneva uno spettro di energia errato. D'altro canto era stato dimostrato rigorosamente da H. Hugenholtz e D. Pines nel 1959 [13] che non poteva esserci un salto di energia nello spettro di eccitazioni di un gas di Bose non ideale. Un'ulteriore complicazione viene dal fatto che per bosoni interagenti con condensazione la teoria delle perturbazioni è singolare, cioè non è possibile ottenere il loro comportamento con continuità dal gas ideale anche per interazione molto debole. Questo problema, a cui si interessarono fisici come Philippe Nozières [14], (che negli

anni '90 scelse il nostro dipartimento per tenere il suo ultimo corso come docente dell'École Normale prima di andare in pensione) rimase nel retro della mia mente e lo ripresi poi nel 1997 sfruttando l'esperienza acquisita nel combinare il gruppo di rinormalizzazione con le proprietà di simmetria. Proprio l'uso del gruppo di rinormalizzazione nei fenomeni critici segnerà la mia ricerca con Gianni dopo che mi sarò ripreso dal servizio militare al mio ritorno da Birmingham, dove con John G. Valatin avevo studiato il comportamento di pellicole superconduttrici ed il cambiamento del tipo di transizione da metallo normale a superconduttore in funzione del campo magnetico al variare del loro spessore.

Il servizio militare era una catastrofe in quel momento!

Si, proprio una catastrofe! Dovevo scrivere il lavoro della tesi di dottorato e continuare i lavori iniziati. Nel frattempo mi ero anche sposato. Tutta la mia attività venne interrotta. Mi ricordo ancora la meraviglia dei miei colleghi e dei professori a Birmingham quando dicevo che tornando in Italia sarei andato a fare il servizio militare. Non potevano crederci pensando che erano stati spesi dei soldi dallo stato italiano per farmi seguire il dottorato e tornando avrei dovuto fare una cosa diversa da quella per cui ero stato mandato a Birmingham. Sono entrato in un mondo che era allucinante, prima l'accademia aeronautica a Pozzuoli per l'addestramento e poi il centro radar di Licola come ufficiale dei servizi. In accademia c'insegnavano a marciare per fare bella figura al giuramento, niente che potesse servire da vero addestramento. Ci impartivano insegnamenti su rigide regole di galateo e poche altre discipline tra cui alcune nozioni di meccanica, di balistica e, dato che eravamo in aeronautica, di fluidodinamica, le cui dispense sarebbe stato bene conservare a perenne memoria di didattica fasulla. In qualità di ufficiale ai servizi nel centro di Licola io sarei stato il responsabile della sicurezza contro eventuali attacchi dei "socialcomunisti", ma il mio addestramento consisteva nell'aver sparato un'unica volta con una pistola e con il MAB. Durante l'elezione a camere riunite di Saragat a presidente della repubblica che si protraeva con più votazioni, il commento più benevolo tra gli ufficiali era "dovremmo andare lì e fare piazza pulita".

Nel periodo finale della mia permanenza a Birmingham, Chester viene chiamato a Cornell, dove si trovavano Ben Widom, Michael E. Fisher, David Mermin (che era postdoc a Birmingham mentre io facevo il dottorato) e più tardi Kenneth Wilson, con i quali dovrò poi vedermela a lungo durante la mia attività sui fenomeni critici. Chester mi accennò alla possibilità

di seguirlo negli USA come post doc. Ne parlai con Cini che mi consigliò di tornare in Italia per tentare di mettere su un'attività in questo campo. A parte l'indicazione di Cini, mi sono convinto a tornare sia perché sarebbe stato interessante costruire qualcosa in Istituto, sia perché avevo la sensazione che per quanto avessi imparato l'inglese non avrei mai potuto dominare la lingua al punto di usarla con la raffinatezza dialettica con cui veniva usata in certi ambienti per prendere parte appieno alla vita culturale del posto. Soprattutto questa sensazione l'avevo avuta nell'Inghilterra di allora dove l'uso della lingua era un elemento di forte discriminazione. In questa decisione ebbe quindi un peso la mia idea che la cultura è una e quindi non si può fare lo scienziato se poi non si prende anche parte alla vita e alla cultura del paese. All'estero sarei andato spesso per lavoro, ma solo per brevi periodi, anche perché Franca non se la sentiva di andare fuori per un periodo lungo e fare la moglie del fisico, lei insegnava con entusiasmo e dedizione e non aveva nessuna voglia di rinunciare alla sua attività.

Tornai quindi in Istituto dopo il servizio militare ed entrai nella sezione di Roma dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Di nuovo qui appare la lungimiranza di Amaldi che faceva sì che l'INFN fosse aperto a giovani di altro campo. Già nel 1965 sono incaricato di tenere un corso alla scuola di perfezionamento (allora non esisteva il dottorato) e per la prima volta a Roma viene insegnata la teoria dei superfluidi e dei superconduttori [15]. Al corso partecipavano attivamente i giovani ricercatori del gruppo di Careri, con il quale tenevamo riunioni regolari per discutere i nuovi articoli che man mano uscivano. In quel periodo tento spiegazioni fenomenologiche di alcuni loro esperimenti sulla creazione dei vortici in elio superfluido. Resto dipendente dell'INFN fino al 1969 quando divento libero docente in fisica teorica, assistente ordinario e contemporaneamente vengo incaricato del corso di Fisica teorica perché Persico era improvvisamente morto. Ero stato nella sua commissione di esami in quel periodo e mi piace ricordare un aneddoto. Ci capitavano studenti di quello che allora era il corso di laurea in fisica-matematica considerato di seconda categoria, sostanzialmente per futuri insegnanti di scuole secondarie. Io, giovane spocchioso, tendevo ad essere severo ed un giorno insistevo con Persico per bocciare un candidato dicendo "Professore, ma questi andranno ad insegnare ai miei figli" e lui bonario "Non ti preoccupare, tanto insegnano già anche senza laurea". Il problema della preparazione dei docenti per le scuole ha una vecchia storia. Tenni quindi in quell'anno il mio primo corso di fisica teorica e fu una

esperienza piuttosto bella perché mi divertii molto ad introdurre argomenti nuovi per Roma, come la meccanica quantistica nella formulazione alla Feynman con gli integrali sui cammini e la connessione con la meccanica statistica, argomento che diventerà centrale nella ricerca in meccanica statistica degli anni '70. Non so se anche gli studenti si divertirono ma certo io ne ebbi un'ottima impressione. Tra questi ricordo Luca Peliti e Marco D'Eramo, che fecero la tesi con me (poi Marco decise di lasciare la fisica e divenne giornalista) e Enrico Presutti (come lui mi ha ricordato recentemente). In quegli stessi anni era studente anche Giorgio Parisi, che tanto impulso ha dato alla fisica romana in particolare proprio nella connessione tra teoria dei campi e meccanica statistica.

17.5 I fenomeni critici

In che direzione stavi lavorando, nel frattempo?

In quel periodo riprendo i lavori lasciati in sospeso con Valatin e con William Young, che come nuovo dottorando aveva proseguito il mio lavoro di tesi sulle pellicole superconduttrici. Con lui ottengo una derivazione microscopica dell'evoluzione temporale del parametro che controlla la transizione superconduttiva [16] (equazione di Landau-Ginzburg dipendente dal tempo) e in quegli anni comincio ad interessarmi dei fenomeni critici. Fino alla metà degli anni '60, l'elio e i superconduttori erano studiati soprattutto per le loro proprietà specifiche di assenza di viscosità o di resistività e per la peculiarità di avere effetti quantistici in scala macroscopica, da quegli anni si cominciano a studiare come uno dei tanti esempi di transizioni di fase, di cambiamenti di stato, in questo caso da liquido normale a liquido superfluido, da metallo normale a superconduttore. C'è un tentativo di unificare tutte le transizioni di fase (gas-liquido, ferromagnete-paramagnete, smescolamento delle miscele binarie, ...) studiandone le proprietà generali per individuarne gli aspetti comuni universali [17] in particolare vicino al punto critico che, ad esempio, nella transizione di un fluido semplice dalla fase gassosa alla fase liquida coincide con il punto terminale della curva di coesistenza delle due fasi al variare della temperatura e della pressione. È il punto di alta instabilità dove le due fasi perdono la loro individualità e si confondono. Si comincia ad intravedere un nuovo approccio alla ricerca nella fisica della materia condensata. Prima, negli anni '50 e '60, si erano studiate le proprietà dinamiche dei singoli sistemi per individuarne le

eccitazioni elementari. Lev D. Landau aveva introdotto delle teorie fenomenologiche in cui si ricostruivano le proprietà termodinamiche o di trasporto di ciascun sistema dalle sue eccitazioni elementari o quasiparticelle, sia per bosoni (elio superfluido) [18] che per fermioni (ad esempio, l'isotopo 3 dell'elio allo stato liquido o gli elettroni nei metalli) [19]. Sistemi costituiti da particelle fortemente interagenti tra loro venivano sostituiti da gas di quasiparticelle interagenti debolmente (ad esempio, le eccitazioni fononiche nell'elio superfluido con spettro lineare nella quantità di moto). Gli effetti di interazione erano efficacemente inglobati o nel cambiamento del tipo di spettro di eccitazione rispetto alla particella libera originale (come ad esempio nei fononi dove l'energia di eccitazione in termini della quantità di moto da quadratica – per le particelle libere – diventa lineare) o nel cambiamento di parametri caratteristici del gas libero con parametri efficaci, come ad esempio la massa originale degli elettroni nei metalli, che veniva sostituita con un suo valore efficace. Si dovevano quindi trovare tecniche per trattare sistemi a molti corpi interagenti tra loro e calcolarne in modo approssimato la dinamica in termini di quasiparticelle indipendenti. Di qui lo sviluppo enorme che ebbe la teoria a molti corpi in quegli anni, di cui è un ottimo esempio la raccolta di articoli operata da D. Pines in *The many-body problem* ed il libro *Quantum Field Theoretical Problems In Statistical Mechanics* di A. A. Abrikosov, L.P. Gor'kov e L. Ye. Dzyaloshinskii [20], testi sui cui, in assenza di una scuola locale, abbiamo imparato le tecniche di lavoro. Una volta individuate le quasi particelle per ciascun sistema, la meccanica statistica era banale, riducendosi sostanzialmente a quella di un gas di Bose o di Fermi.

L'approssimazione di trattare i sistemi interagenti mediante un gas di eccitazioni dallo stato fondamentale o quasiparticelle libere e indipendenti tra loro, va bene finché non ci si discosta troppo dallo stato fondamentale. Aumentando la temperatura aumenta il contenuto energetico del sistema e quindi aumenta il numero di quasiparticelle che cominciano ad interagire tra loro e ad essere mal definite. Vicino al punto critico, quindi, questo schema semplificativo, che dominava la ricerca nella fisica della materia condensata, non va più bene. Vediamo da un altro punto di vista la perdita di validità nel caso dei fenomeni critici degli schemi semplificativi allora esistenti per trattare sistemi a molti corpi. Avvicinandosi al punto critico il sistema sta diventando instabile, deve cambiare le sue proprietà e assumere la struttura appropriata all'altra fase. Si formeranno isole sempre più gran-

di della fase sbagliata nella fase dominante fino a che poi tutto il sistema cambia fase, o più precisamente fluttuazioni della fase che sta generandosi saranno sempre più presenti. Ad esempio, se stiamo vicino al punto critico della transizione da gas a liquido a cui corrispondono due valori diversi del volume specifico, le fluttuazioni di densità saranno sempre più forti, mentre per la transizione da paramagnete a ferromagnete saranno le fluttuazioni della magnetizzazione a crescere. Queste bolle di fase instabile sono costituite da zone in cui i singoli elementi costitutivi il sistema (le molecole del fluido o i magnetini elementari nei due esempi precedenti) sono fortemente correlati tra loro e non possiamo considerarli più come indipendenti anche rivestendoli opportunamente per tener conto dell'interazione. Man mano che mi avvicino al punto critico, la lunghezza su cui ciò avviene diventa sempre più grande per arrivare a comprendere tutto il sistema. Una volta raggiunto il punto critico, i gradi di libertà del sistema (dell'ordine del numero di Avogadro) interagiscono fortemente gli uni con gli altri e non posso più considerare lo schema di particelle o quasiparticelle indipendenti né tanto meno posso usare la teoria delle perturbazioni per costruire le proprietà del sistema correlato a partire da quello non correlato. Tutti gli schemi a disposizione del fisico teorico falliscono e non è un caso che il problema fosse ancora aperto nonostante ci si fossero cimentati fisici della portata di Landau [21]. Si devono trattare innumerevoli gradi di libertà fortemente accoppiati tra loro e quindi il fenomeno critico si pone come un problema di teoria dei campi in accoppiamento forte.

Come per la fisica delle particelle elementari?

Esattamente così. La profonda conoscenza di Gianni della teoria dei campi è stata decisiva per affrontare correttamente il problema. Vivendo in un istituto dove la fisica delle particelle elementari era dominante, in qualche modo anche io l'ho respirata nell'aria. In più a Birmingham oltre ai corsi sui superfluidi di Chester, di superconduttività di Valatin, di fisica nucleare e fisica dello stato solido di Peierls, avevo seguito il corso di teoria dei campi di Mandelstam. Nell'estate del 1966 sono andato alla scuola di Brandeis sui fenomeni critici, dove non mi ricordo chi ci fosse, ma sicuramente Leo P. Kadanoff, allora all'Università dell'Illinois, fece una rassegna dei fenomeni critici mettendone in risalto gli aspetti universali [17]. Io ne rimasi fortemente colpito e al mio ritorno cominciai a discuterne con Gianni.

17.6 La collaborazione con Gianni Jona-Lasinio

Hai fatto spesso riferimento al tuo rapporto con Gianni Jona-Lasinio, puoi spiegare meglio la natura della vostra collaborazione?

Gianni è una di quelle rare persone che sono sempre fonte di arricchimento intellettuale. Cercherò di delineare secondo il mio punto di vista la problematica che abbiamo affrontato: si era incominciato ad intravedere che, come dicevo prima, le transizioni di fase non andavano studiate singolarmente per capire le proprietà specifiche di ciascun sistema, per esempio come varia la magnetizzazione al variare del campo magnetico nella transizione magnetica o come varia la densità al variare della pressione nella transizione gas-liquido, ma stabilita una corrispondenza tra campo magnetico e pressione e tra magnetizzazione e la differenza tra la densità del liquido ed il gas, il comportamento delle grandezze è identico per i due sistemi pur così diversi tra loro. In generale purché si stabilisca un'opportuna corrispondenza delle variabili appropriate per ciascun sistema, il comportamento critico è universalmente identico. Si possono quindi classificare i sistemi in classi di universalità con lo stesso comportamento critico sulla base delle proprietà di simmetria della grandezza caratterizzante la transizione, il parametro d'ordine, come la magnetizzazione spontanea nel caso magnetico, conformemente alle proprietà di invarianza del sistema. Questo è uno dei primi problemi di complessità, adesso tanto decantata, anzi ne è stato l'elemento principe. Ho detto che il problema era quasi irrisolvibile dal punto di vista standard, non andava più bene la teoria delle perturbazioni perché si dovevano trattare infiniti gradi di libertà tutti fortemente correlati tra loro, non andava più bene lo schema delle quasiparticelle, quindi bisognava inventare un nuovo schema che ci permettesse di affrontare questa problematica.

Come fu affrontato il problema?

Bene, l'universalità è stata la chiave di volta. Come sempre, ciò che impedisce l'uso degli schemi precedenti permette l'individuazione dello schema nuovo a cui si fa poi riferimento. Cosa impedisce l'uso della teoria perturbativa? Il fatto che la distanza su cui avvengono le fluttuazioni, la distanza di correlazione, diventa sempre più grande avvicinandosi al punto critico, al limite infinita. Questo, visto come un ostacolo per l'applicazione degli schemi precedenti, diventa l'elemento per trovare il nuovo schema semplificato. Infatti, se diventano importanti le correlazioni su grandi distanze,

vuol dire che tutto quello che avviene su breve distanza non è importante, è irrilevante. Allora, iniziando dalla rappresentazione del sistema in termini di particelle interagenti su scala interatomica, bisognava trovare il modo di descrivere il sistema in termini di variabili che raggruppessero le variabili originali su celle di dimensioni L volte la distanza media tra le particelle. Dato che al punto critico la distanza di correlazione va all'infinito posso pensare di ripetere questa trasformazione facendo crescere il fattore di scala L . Vicino al punto critico le grandezze fisiche del sistema originale e del sistema scalato debbono mostrare lo stesso comportamento. Imponendo, senza realizzare esplicitamente la trasformazione, l'invarianza delle grandezze fisiche per questo cambiamento della scala delle lunghezze si ottennero dei legami assai stretti tra i parametri che ne caratterizzano il comportamento (leggi di scala o teoria dello *scaling*) che erano ben soddisfatte per tutte le transizioni di fase. La teoria fenomenologica di invarianza di scala, sviluppata in questo modo oltre che da Kadanoff, da A. Z. Patashinski e V. L. Pokrovski in Russia [17], funzionava quindi assai bene. Si doveva trovare la sua formulazione partendo dalla teoria microscopica. Con questa trasformazione di scala delle lunghezze, di cui si è ipotizzata l'invarianza dei sistemi vicino al punto critico, si eliminano tutte le variabili irrilevanti per la descrizione del fenomeno critico che ne offuscano la descrizione nel modello di partenza, mettendo in rilievo le poche variabili rilevanti che servono a descrivere il fenomeno critico nel modello scalato. Due aspetti diversi dell'universalità diedero luogo alla formulazione microscopica della "teoria dello scaling" con l'uso del gruppo di normalizzazione di teoria dei campi che nel 1969 abbiamo introdotto con Gianni nello studio dei fenomeni critici e nel 1971 con il gruppo di normalizzazione di "Wilson", che poi vinse il premio Nobel proprio per la teoria dei fenomeni critici che ne seguì.

Quali sono questi due aspetti dell'universalità?

Allora vediamo: 1) Dato che vicino al punto critico si stabilisce una correlazione a grandi distanze, ciò che avviene a corte distanze è inessenziale anzi ne oscura gli aspetti rilevanti. Se si riesce ad eliminare i gradi di libertà a distanze brevi raggruppando gradi di libertà su scale sempre più grandi, si cambia con continuità modello fino a che nel modello asintotico dovrebbero essere messe in risalto e descritte in modo semplice le proprietà dei fenomeni critici. Wilson riuscì ad implementare in modo sistematico questa idea di Kadanoff di raggruppare le variabili e costruì una teoria completa

dei fenomeni critici. 2) Diversi sistemi fisici mostrano lo stesso comportamento critico. Tutti i parametri che specificano e diversificano i sistemi tra di loro, ad esempio l'entità dell'interazione, devono essere irrilevanti. Ogni sistema fisico è equivalente ad un altro sistema fisico per quanto riguarda i fenomeni critici purché, cambiando e al limite eliminando le variabili considerate irrilevanti, allo stesso tempo si riscalinano le variabili considerate rilevanti. Nel nostro approccio la deviazione dalla temperatura critica e il parametro d'ordine erano le variabili rilevanti mentre l'interazione o la costante di accoppiamento avrebbe dovuto essere il dettaglio irrilevante che specificava microscopicamente il sistema. Si può stabilire una corrispondenza con la teoria dei campi considerando il parametro d'ordine come un campo classico e in tal caso la deviazione della temperatura dal suo valore critico appare come la massa. Nella teoria dei campi con il gruppo di rinormalizzazione [22] si può cambiare la costante di accoppiamento purché si rinormalizzino il campo (rinormalizzazione di funzione d'onda) e la massa. Rendendo le equazioni del gruppo indipendenti dalla costante di accoppiamento ottenemmo la teoria dello *scaling*. Cercammo per lungo tempo di calcolare esplicitamente, oltre alle leggi di scala, il comportamento critico nei diversi sistemi con risommazioni particolari di termini nella teoria perturbativa rinormalizzata, finché nel 1969 decidemmo di pubblicare questo primo risultato sulla derivazione della teoria dello *scaling* [23]. Nell'estate del 1970 ci fu una scuola di Varenna sui fenomeni critici organizzata da Melville Green di Philadelphia [24], che aveva subito captato l'importanza del nostro lavoro per cui ci aveva invitato a fare delle lezioni. Lì abbiamo messo in chiaro dove eravamo arrivati fino ad allora, cioè la derivazione della teoria dello "scaling" sotto l'ipotesi della eliminazione della costante di accoppiamento e abbiamo mostrato insieme a De Pasquale la connessione con gli sviluppi che nel frattempo erano stati fatti in Russia da Migdal e Polyakov, che avevano costruito una teoria rinormalizzata dei fenomeni critici indagando le strutture ripetitive della teoria perturbativa. A quella scuola erano presenti sia Fisher che Kadanoff.

Quale fu la reazione alle vostre proposte?

Fu piuttosto fredda. Secondo me non avevano capito, forse per colpa nostra, quello di cui stavamo parlando. Non avevamo tenuto conto del fatto che i fisici della materia condensata non erano pronti ad accogliere le nostre idee.

Facevano delle critiche particolari?

No. Semplicemente mantenevano un atteggiamento di sufficienza. Tieni



Figura 17.4: Varenna, estate 1970, Scuola sui *Fenomeni critici* organizzata da M. S. Green. Sono presenti, tra gli altri, L. P. Kadanoff (in seconda fila con T-shirt a righe), G. Jona-Lasinio e C. Di Castro (entrambi alla sinistra di Kadanoff e alla destra di M. S. Green), R. B. Griffiths, G. Stell, J. V. Sengers, M. E. Fisher, K. A. Müller, L. Peliti, M. D'Eramo, G. Ciccotti, F. De Pasquale, F. P. Ricci, K. Kawasaki, K. Binder, P. C. Hohenberg, M. Cassandro (cortesia Società Italiana di Fisica).

presente che nell'autunno del '69, David Mermin mi aveva invitato a presentare questo lavoro a Cornell, dove proprio ancora non si parlava del gruppo di rinormalizzazione. Prima del seminario David mi condusse nello studio di Fisher e mi introdusse dicendo: "C'è Carlo che ci parlerà di questo approccio nuovo ai fenomeni critici" e la risposta di Fisher fu che conosceva il lavoro perché aveva sentito Jona a Parigi e il lavoro era "either trivial or wrong". Tre anni dopo lavorava a tempo pieno sul gruppo di rinormalizzazione. Non ha mai voluto riconoscere che noi avevamo aperto il campo, cosa che invece Wilson ha fatto sia nel primo articolo sulla derivazione dello scaling, sia nel vasto articolo di rassegna scritto con J. Kogut nel 1972 [25] che nella sua lezione per il Nobel del 1982 apparsa nel 1983 sul *Reviews of Modern Physics* [26], dove afferma che Ben Widom nell'autunno del 1970 gli aveva chiesto di fare un seminario sul gruppo di rinormalizzazione. Widom era particolarmente interessato all'approccio dato che noi lo avevamo proposto per lo studio dei fenomeni critici, ma nessuno del suo gruppo era in grado di capire il nostro lavoro. Wilson afferma inoltre che durante le lezioni aveva individuato la necessità di fornire esempi calcolabili esplicitamente, fatto di cui anche noi eravamo alla ricerca. Recentemente nel 2002 in un progetto del MIT sulla "Physics of Scales" con lo scopo di produr-

re sul web un resoconto sulla scienza contemporanea, sono state registrate varie interviste da parte di Babak Sharif e Sam Schweber, tra cui anche una di Gianni ed una mia che però non sono ancora trascritte sul sito. Tra queste sono apparse quelle di Wilson e di Widom, che non ricorda più nulla né della mia visita a Cornell né della sua richiesta a Wilson. Alle domande esplicite dell'intervistatore a tal proposito si trincerava sempre dietro un "Non ricordo".

E Wilson?

Wilson, come ho detto, in più casi, afferma che la storia è andata in quel modo. . . Dunque, cosa è successo? Facciamo un passo indietro. David Mermin nel '70-'71 era a Roma in sabbatico nel mio studio e un certo giorno al mio arrivo mi dice: "Guarda Carlo, mi è arrivato da Cornell un preprint di Wilson dove anche lui introduce il gruppo di normalizzazione nei fenomeni critici". Mi aveva mostrato il preprint, datato dicembre 1970, pubblicato nel 1971 [26], dove Wilson, analogamente al nostro lavoro del 1969, riformula sotto forma di equazioni del gruppo di rinormalizzazione la teoria dello scaling di Kadanoff sottoponendo ad analisi critica la formulazione di variabili a blocco. A questo primo articolo seguì un articolo sempre del 1971 [27] dove per la prima volta Wilson realizza un processo esplicito di eliminazione di gradi di libertà che produce relazioni ricorrenti (equazioni di flusso del gruppo di rinormalizzazione) tra i parametri che caratterizzano il sistema. Risolte numericamente, queste equazioni, secondo l'esigenza maturata durante i seminari al gruppo di Widom, per la prima volta predicono un comportamento critico corretto esplicito di grandezze fisiche diverso da quello classico predetto dalle teorie di campo medio tipo equazione di stato dei gas reali di Van der Waals o campo medio di Weiss per i magneti.

Cosa non andava in queste teorie?

In queste teorie di campo medio riunite in un'unica formulazione da Landau [21] introducendo il concetto di parametro d'ordine, l'effetto dell'interazione degli altri su un dato elemento microscopico è considerato in media, vengono cioè trascurati proprio gli effetti di fluttuazioni tanto importanti nei fenomeni critici. Sempre nel 1969, proprio rendendo compatibile la teoria di Landau con l'effetto delle fluttuazioni fino al punto critico, avevo, insieme a J. A. Tyson e F. Ferro-Luzzi [28], ottenuto fenomenologicamente una teoria rinormalizzata, che avrà la sua controparte microscopica nel gruppo. Si può dimostrare che, se vivessimo in un mondo con più di quattro

dimensioni invece che in un mondo a tre dimensioni, anche al punto critico le fluttuazioni perderebbero la loro importanza e sarebbero trascurabili rispetto alla media delle grandezze fisiche. Le teorie classiche sarebbero in tal caso valide. Diminuendo le dimensioni dello spazio, le fluttuazioni del parametro d'ordine vicino al punto critico diventano invece più grandi del suo valore medio e infine divergono. Nel 1972 Fisher per la prima volta si addentra nella problematica del gruppo di rinormalizzazione e insieme a Wilson fa un passo cruciale [29]. Partendo dalle quattro dimensioni, che differenziano le teorie classiche dal mondo dove le fluttuazioni dominano “rivestendo” le grandezze fisiche vicino al punto critico, Fisher e Wilson costruiscono quella che si chiama la “ ϵ -expansion” un'espansione nella dimensionalità spaziale d , dove $\epsilon=4-d$ è supposto piccolo. Con il gruppo si costruisce il modello asintotico al variare della dimensionalità a partire da quattro dimensioni dove tutto è noto e facilmente calcolabile perché le teorie di campo medio sono valide e corrispondono a teorie di campo libere. Se presupponi di essere a dimensioni minori di quattro ma molto vicino a quattro puoi costruirti il comportamento critico introducendo piccole correzioni nelle equazioni della trasformazione del gruppo a partire dalla loro espressione a quattro dimensioni. L'importanza della “ ϵ -expansion” non risiede tanto nel fatto che ponendo $\epsilon=1$ si ottengono comportamenti critici in buon accordo con i dati sperimentali, ma che si riescono ad ottenere esplicitamente distribuzioni di probabilità, compatibili con il comportamento critico dei sistemi fisici, anomale rispetto alle distribuzioni standard delle fluttuazioni. Non vale in questo caso che ogni porzione sufficientemente grande del sistema abbia un comportamento medio indipendente dal resto. Il fenomeno collettivo non è la semplice sovrapposizione di eventi microscopici e al crescere del numero dei costituenti elementari, sorgono nuovi aspetti in cui l'elemento statistico e la distribuzione delle fluttuazioni dominano. Quindi in questo caso gli aspetti statistici sono più importanti degli aspetti dinamici che permettevano di risolvere approssimativamente il modello in termini di quasiparticelle e poi calcolare sostanzialmente la meccanica statistica di un gas in un modello di particella indipendente. Dopo Wilson e Fisher mi apparve subito chiaro che la “ ϵ -expansion” si poteva ottenere con il nostro metodo come pubblicai in una lettera [30] dello stesso anno, 1972. Le equazioni del gruppo di teoria dei campi permettono di procedere nella “ ϵ -expansion” con calcoli più semplici che con il gruppo di Wilson e saranno infatti usate per il calcolo del comportamento critico dei sistemi

più svariati.

Quanto raggiunto con il gruppo di rinormalizzazione non cambia le leggi fondamentali della fisica, ma sicuramente cambia il paradigma con cui si affrontano i problemi. Prima del gruppo di rinormalizzazione si tentava di risolvere il problema o esattamente (possibile solo in pochissimi modelli e al più in una o due dimensioni) o in modo approssimato in teoria delle perturbazioni, inapplicabile al caso in questione in cui fenomeni su diverse scale sono tutti coinvolti. Si è cambiata metodologia, non si tenta di risolvere un modello, ma di trasformare il modello originale in modo da mettere sempre più in risalto le proprietà specifiche del punto critico operando una riduzione di variabili, passando dagli infiniti gradi di libertà fortemente interagenti fra loro ai pochi gradi di libertà del modello trasformato, che mostra però le proprietà di un punto critico in modo esplicito. Quindi non si risolve più un problema facendo delle approssimazioni su un modello in cui i singoli elementi microscopici sono in interazione tra di loro, ma lo si trasforma in modelli equivalenti a quello iniziale per quegli aspetti che riteniamo rilevanti nella discussione del problema. Il metodo di Gibbs per la meccanica statistica e con esso lo schema riduzionista del passaggio dal microscopico semplice al macroscopico complesso non sono messi in crisi: se ne è fatto il giusto uso attraverso l'eliminazione delle variabili irrilevanti ed il processo di filtraggio di quelle rilevanti ed appropriate alla descrizione universale del fenomeno critico, che poi, se vogliamo, è lo stesso principio che si usa per derivare l'idrodinamica.

Si è introdotto quindi un metodo generale attraverso cui individuare i percorsi esplicativi che permettono di interpretare fenomeni collettivi "complessi". Non si tenta di risolvere il sistema complesso in quanto tale, ma si individuano quegli aspetti rilevanti per il problema in studio e quelle variabili corrispondenti su cui agire.

Prima accennavi a quel momento in cui eri andato da Fisher per ricostruire i rapporti, poi hai seguito una strada più generale. C'è stata qualche interazione fra voi, il vostro lavoro e gli altri... ?

Nessuna, devo dire. Noi siamo stati influenzati moltissimo dall'approccio di Kadanoff, questo non c'è dubbio, però la generazione del processo è avvenuta tutta nel nostro istituto. Il contatto che abbiamo avuto con l'approccio di Wilson è stato a posteriori, a cose fatte quando, come ho detto, è arrivato il preprint di Wilson a Roma. È incominciato allora da parte nostra un processo di confronto, che ha portato Gianni a stabilire l'equivalenza

asintotica dei vari gruppi, da lui presentata al Nobel Symposium del 1973 a Lerum.



Figura 17.5: Da sinistra: David Mermin, Brian Josephson, Giovanni Jona-Lasinio, Alfred Zawadowski e Philippe Nozières nel 1973 (Nobel Symposium sul tema *Collective Properties of Physical Systems*, Aspenäsgråden, Lerum, Svezia).

Io non so quanto il nostro lavoro abbia influito su Wilson. Posso solo richiamare quanto ho già indicato sopra. Il primo contatto diretto che io personalmente ho avuto con Wilson è stato al primo grande congresso internazionale sul gruppo di rinormalizzazione ed i fenomeni critici organizzato, come già la scuola di Varenna, da Mel Green a Philadelphia nel '73 [31]. Green insieme a C. Domb [32] ha anche curato una serie di volumi sugli sviluppi dei fenomeni critici tra i quali il volume VI che è sul gruppo di rinormalizzazione, dove nel 1976 insieme a Gianni abbiamo fatto un riassunto dei nostri lavori di allora. A Philadelphia [31] presento un lavoro (pubblicato su *Annals of Physics* che era stato sviluppato con Gianni e Luca Peliti dove avevamo fatto un passo avanti importante, introducendo il gruppo attraverso l'invarianza del potenziale termodinamico da cui mediante derivate funzionali si potevano ottenere le equazioni del gruppo per tutte le grandezze fisiche. Presentando questa versione unificata della teoria del gruppo di rinormalizzazione metto in risalto anche il fatto che più trasformazioni di gruppo di rinormalizzazione possono essere messe in opera che differiscono nel processo di eliminazione dei transienti cioè delle variabili irrilevanti ma poi l'importante è che siano asintoticamente equivalenti. L'equivalenza

nell'uso di diverse trasformazioni fu discussa nel Simposio del congresso a cui partecipai, per quanto mi ricordo, insieme a Wilson, Kadanoff, Fisher, Eduard Brezin, Paul Martin, K. Symanzik e Elihu Abrahams ed appare anche nella trascrizione di molte discussioni dopo le relazioni, che secondo me sono la parte più importante dei rendiconti.

È stata l'occasione di un confronto diretto...

Infatti ho richiamato esplicitamente le discussioni avvenute in questo congresso sull'equivalenza tra le varie trasformazioni, proprio perché è questa equivalenza che Fisher non ha mai voluto accettare. Ho tentato invano di ricordargli le discussioni avute in questo congresso, dove eravamo entrambi, in una corrispondenza che abbiamo avuto nel 1997 a seguito di una sua richiesta di eventuali suggerimenti su un suo articolo storico. Ho tentato invano anche di fargli comprendere che dei due tipi di problemi che si presentavano nei fenomeni critici quando avevamo introdotto l'uso del gruppo, il calcolo effettivo dei parametri che caratterizzano il comportamento delle grandezze fisiche e le basi concettuali della teoria per comprendere l'universalità e la derivazione dello scaling, il secondo era stato da noi affrontato ed in parte risolto.

Tornando al congresso del 1973, è il primo grande congresso dove erano presenti simultaneamente fisici coinvolti nei fenomeni critici, il gruppo di rinormalizzazione e la connessione tra la meccanica statistica e la teoria dei campi. Io, così come per Varenna, fui invitato da Mel Green che fin dal primo momento aveva capito l'importanza del metodo che avevamo proposto. Mel è morto nel 1980. In un articolo che scrissi in suo onore [33] traccio una breve storia del gruppo di rinormalizzazione dove metto in risalto come il gruppo di teoria dei campi da noi introdotto ed il gruppo di Wilson corrispondono a due versioni diverse dell'universalità, secondo quanto ho già ricordato. In quello stesso lavoro metto in risalto un aspetto importante. Il macchinario del gruppo di rinormalizzazione va bene, purché si conosca il punto di partenza. Si deve cioè conoscere il parametro d'ordine e gli invarianti che si possono costruire con esso. Il parametro d'ordine diventa il campo classico su cui poi si innesta la rinormalizzazione. Conoscere il parametro d'ordine che caratterizza il cambiamento nella forma di aggregazione del sistema nel passare dalla fase disordinata ad alta temperatura alla fase ordinata a bassa temperatura è equivalente quindi a conoscere le proprietà di simmetria del sistema. Nei casi in cui è difficile individuare il parametro d'ordine o questo assume una forma complicata si hanno delle difficoltà a

individuare come procedere alla rinormalizzazione e allora si può far ricorso alle simmetrie del sistema come ausilio per capire come procedere. Uno di questi casi in cui è difficile individuare in modo univoco il parametro d'ordine è la transizione da metallo a isolante indotta dall'interazione tra gli elettroni, con un meccanismo ben diverso dal normale modo di intendere gli isolanti attraverso il riempimento delle bande nello schema a particella libera. Tale transizione va sotto il nome di transizione di Mott. Secondo quanto riportato da Sir Nevill Mott, era stato Peierls ad indicare in un congresso l'interazione forte tra gli elettroni, e quindi la forte correlazione, come causa del comportamento isolante di alcuni materiali, che secondo lo schema a bande dovrebbero essere metalli.

17.7 Sistemi elettronici correlati e l'inizio della collaborazione con Claudio Castellani

A questo punto inizia una collaborazione che poi dura decenni con Claudio Castellani, che con la sua profonda comprensione dei problemi è sempre stato un magnifico compagno di lavoro e un punto di riferimento per tutto il gruppo. Negli anni sono stati con noi nostri laureati, dottori di ricerca e giovani stranieri, Gabor Forgacs, Roberto Raimondi, Sandro Sorella, Michele Fabrizio, Walter Metzner, Sergio Caprara, Fabio Pistolesi, che ha fatto la tesi di dottorato con Giancarlo Strinati, José Lorenzana, Andrea Perali, Lara Benfatto, Massimo Capone, Tilman Enss... e, in particolare, Marco Grilli, che insieme a Caprara è membro permanente del gruppo, entrambi partecipi e promotori di tante esperienze di ricerca. Claudio Castellani alla fine degli anni '70 si era laureato alla Casaccia con C. R. Natoli e aveva fatto una tesi proprio sulla transizione metallo-isolante di alcuni ossidi di vanadio per i quali, esercitando una compressione o drogando opportunamente il materiale, si passa da una fase isolante ad una fase metallica. Il problema della correlazione forte nei sistemi elettronici è un problema estremamente complicato che coinvolge i materiali più diversi ed ha acquistato particolare importanza dopo la scoperta dei superconduttori ad alta temperatura critica.

Noi abbiamo cominciato ad interessarci di questa problematica intorno alla fine degli anni '70. Abbiamo fatto ricorso a due aspetti dominanti emersi nello studio dei fenomeni critici: le proprietà di simmetria e l'idea di sostituire al modello microscopico un modello efficace in termini di variabili

rilevanti per il problema in studio. Il modello microscopico più semplice che si adatta allo studio della transizione metallo–isolante era stato introdotto da J. Hubbard nel 1963 e comprende un termine cinetico che permette agli elettroni di muoversi favorendo la fase metallica e una interazione repulsiva locale che tende a localizzarli impedendo il loro moto e favorendo la fase isolante. Dalla competizione dei due termini dovrebbe risultare la transizione metallo–isolante. Nonostante sia così semplice, non si riesce a risolvere il modello in modo adeguato specialmente nel regime dei parametri di interesse, dove la parte localizzante repulsiva è confrontabile con la parte cinetica. In più l'uso diretto del gruppo era impedito dagli aspetti quantistici propri del modello di fermioni interagenti. Con Claudio in una serie di lavori abbiamo chiarito le difficoltà intrinseche ad applicare il gruppo di rinormalizzazione in questo caso [34]. Infine, facendo uso delle sole proprietà di simmetria del modello originale, abbiamo, insieme con Julius Ranninger e Denis Feinberg di Grenoble, trasformato il modello di Hubbard in un modello espresso in termini degli invarianti del sistema costruiti con le variabili fisiche, sostanzialmente la densità di carica e di spin [35]. Il nuovo modello ci permise di discutere la transizione metallo–isolante in analogia con la transizione di smescolamento di una miscela binaria. Negli anni '90 per trattare la transizione di Mott è stata usata da G. Kotliar e A. Georges il metodo di campo medio dinamico che, pur essendo una teoria di campo medio, tiene conto degli effetti di fluttuazione quantistica a livello locale [36]. I loro risultati presentano analogie con alcune proprietà (in particolare con il parametro d'ordine) che avevamo individuato a suo tempo con questa trasformazione basata solo sulle proprietà di invarianza del modello di Hubbard.

Vorrei mettere in risalto che è stata una costante della mia ricerca l'uso delle proprietà di simmetria per riformulare il problema in termini di variabili fisiche e allo stesso tempo condizionare e individuare le possibili rinormalizzazioni.

17.8 I sistemi disordinati

A partire dal 1983, le proprietà di simmetria sono state usate anche nello studio di un'altra problematica importante, che rimaneva ancora aperta nella materia condensata: la generalizzazione della transizione metallo–isolante dovuta alla localizzazione degli elettroni singoli per effetto del di-

sordine, transizione di Anderson, al caso di elettroni interagenti. Allora dobbiamo fare un passo indietro. Nel 1981, con Claudio e Luca Peliti, avevo organizzato all'Accademia dei Lincei una conferenza [37] in cui per la prima volta venivano discussi insieme effetti di percolazione, vetri di spin e sistemi elettronici correlati in presenza di disordine, tutti casi complessi in cui è difficile individuare il parametro d'ordine. In particolare la transizione metallo–isolante, caso a cui noi ci stavamo interessando, può essere indotta dall'interazione tra gli elettroni (transizione di Mott) come abbiamo discusso prima. Un'altra possibilità, anche essa osservata sperimentalmente (ad esempio drogando il silicio con impurezze di fosforo), è di introdurre del disordine in un sistema elettronico.



Figura 17.6: Carlo Di Castro nel 1981 (*International Conference on Disordered Systems and Localization*, Accademia dei Lincei, Roma, 13–15 maggio 1981.)

Gli elettroni urtano contro le impurezze trasformando il flusso di carica ordinato in moto disordinato dando luogo alla resistenza elettrica. Nello schema di particelle indipendenti per gli elettroni nei metalli si arriva così alla teoria classica di Drude per il trasporto di carica. In base alla teoria di Landau delle quasiparticelle per i fermioni (teoria dei liquidi normali di Fermi), purché non si raggiungano temperature troppo elevate, le grandezze fisiche sia di equilibrio sia di trasporto, se espresse in termini di quasiparticelle, vengono ad avere la forma valida per i gas. Gli effetti di interazione si manifestano solo attraverso la modifica di alcuni parametri oltre la massa, che assumono un valore efficace diverso da quello valido per gli elettroni

liberi nella suscettività di spin, nel calore specifico, e nei coefficienti di diffusione. Tuttavia, è stato trovato, in particolare dai fisici russi dell'Istituto di Landau [38], che aumentando il disordine effetti di interferenza quantistica invalidano la teoria classica con correzioni singolari (logaritmiche in due dimensioni) in teoria delle perturbazioni. Però è stato P. W. Anderson fin dal 1958 [39] a dare l'impronta nuova al problema, cambiando paradigma. Mentre prima si tendeva a considerare l'effetto del disordine in media, quindi si partiva da elettroni delocalizzati e al più si cambiavano a causa del disordine i parametri efficaci che li descrivevano, Anderson indica come il disordine forte possa invece agire da trappola per gli elettroni che quindi localizzano intorno alle impurezze. Il loro moto è impedito ed il sistema diventa isolante (transizione di localizzazione di Anderson. Il parametro di controllo di questa transizione è il disordine che è misurato dalla capacità del materiale di condurre, cioè dalla conduttanza. L'equazione del gruppo per la conduttanza, curando le singolarità della teoria perturbativa, controlla la sua evoluzione secondo la teoria dello scaling per questa transizione [40].

Cosa accade se invece di un sistema di particelle indipendenti in presenza di disordine si considerano elettroni interagenti?

Si potrebbe pensare che non debba succedere molto e la teoria della localizzazione di Anderson debba ancora valere una volta costruita la teoria di Landau che tiene conto in modo efficace dell'interazione. Invece B. L. Altshuler e A. G. Aronov a Leningrado, avevano visto che correzioni singolari alle grandezze fisiche venivano non solo dall'effetto del disordine sugli elettroni liberi, problema risolto con la localizzazione di Anderson, ma anche dall'interazione tra elettroni in presenza di disordine [41].² Ci si domanda allora quali altri parametri, oltre alla conduttanza, il parametro che controlla il disordine, è necessario introdurre per arrivare a controllare in questo caso la transizione metallo-isolante: domanda tutt'altro che banale. Con Claudio [42], ci siamo posti il problema di capire quale teoria dei campi con il gruppo di rinormalizzazione potesse curare queste singolarità che si trovavano in teoria delle perturbazioni e costruire una teoria della localizzazione in presenza dell'interazione mutua tra gli elettroni.

²In quegli stessi anni sono entrato in contatto diretto con la scuola russa perché all'inizio del processo di liberalizzazione dell'URSS ho collaborato con il gruppo dell'Istituto Landau all'organizzazione di due congressi in base all'accordo che avevamo tra il dipartimento di fisica e l'Istituto Landau, uno qui a Roma (1984) e uno a Mosca (1985).

Che cosa succede all'interazione in presenza di disordine?

Fisicamente, si capisce molto bene perché il disordine rafforza l'interazione. Nei metalli ordinari, variazioni locali della carica vengono rapidamente schermate. Nei metalli in presenza di disordine, gli elettroni si propagano per diffusione, fenomeno particolarmente lento a grandi distanze. In un sistema fortemente disordinato, quindi, l'interazione efficace tra gli elettroni dipende fortemente dalla dinamica del moto diffusivo, cioè acquista una forte dipendenza dalla frequenza e dai vettori d'onda ad esso associati. Il disordine cioè riveste l'interazione che può quindi dipendere da una eventuale riscalatura dei tempi e delle lunghezze. Si ottengono così correzioni singolari alle grandezze fisiche in teoria delle perturbazioni.

Come avete tenuto conto di queste singolarità per questa transizione di fase anomala?

Abbiamo iniziato a costruire una teoria perturbativa rinormalizzata facendoci guidare in questa struttura complicata dalle simmetrie e le relative leggi di conservazione che, imponendo delle condizioni stringenti, ci indicavano quali erano ad ogni ordine perturbativo i termini che dovevamo prendere in considerazione nella rinormalizzazione. Abbiamo così individuato che l'interazione introduce almeno due variabili rilevanti (interazione a piccoli e grandi quantità di moto trasferite) nelle equazioni del gruppo in aggiunta alla variabile che caratterizza il disordine [42].

Contemporaneamente Patrick Lee al MIT con i suoi collaboratori stava perseguendo la stessa idea di costruire una teoria perturbativa rinormalizzata per sistemi elettronici interagenti disordinati. Loro avevano però individuato una sola variabile dovuta all'interazione, combinazione lineare delle precedenti [43]. Il controllo che avevamo operato attraverso le condizioni di invarianza aveva dato il suo frutto; termini aggiuntivi generavano i due tipi di accoppiamento separatamente, anche se inizialmente erano combinati. Dopo una corrispondenza decidemmo di unire le forze ed iniziare una collaborazione durata poi per vari anni. A questo punto era molto difficile per noi anche con l'ausilio delle proprietà di simmetria procedere nella costruzione di una teoria rinormalizzata in cui l'unico parametro di piccolezza era costituito dal disordine, dato che l'evoluzione delle equazioni del gruppo, nell'approssimazione in cui eravamo stati in grado di costruirle, ci portavano ad una teoria di accoppiamento forte.

Nell'Unione Sovietica un ricercatore del Landau, Sasha Finkel'stein [44], invece di ricostruire la teoria rinormalizzata rivestendo in modo appropria-



Figura 17.7: Carlo Di Castro con sua moglie Franca, a Boston, nel 1983.

to la teoria perturbativa, riesce a ridurre il sistema di elettroni interagenti in presenza del disordine ad un modello di teoria dei campi. Introduce le rinormalizzazioni specifiche di questo modello e riesce a fornire uno schema in cui trattare i sistemi elettronici disordinati in presenza di interazione. Però di nuovo attraverso le condizioni che a noi derivavano dall'imporre le proprietà di simmetria riusciamo a costruire insieme al gruppo del MIT una teoria perturbativa rinormalizzata e a individuare una piccola correzione nelle equazioni di rinormalizzazione di Finkel'stein che tuttavia cambia la risposta del sistema, correzione contemporaneamente trovata anche da lui [45]. Cosa più importante, seguendo un discorso iniziato da Altschuler e Aronov riusciamo con Claudio a dare un significato fisico a tutte le rinormalizzazioni introdotte nel modello di Finkel'stein [46].

Il risultato finale è sorprendentemente semplice dal punto di vista fisico. I sistemi elettronici non disordinati, come più volte accennato, sono ben descritti dalla teoria di Landau dei liquidi normali di Fermi in cui si tiene conto in modo efficace dell'interazione modificando con i parametri di Landau le espressioni del calore specifico, della compressibilità e della suscettività di spin, valide per gli elettroni liberi. In presenza del disordine i sistemi elettronici interagenti sono ancora ben descritti dalla teoria di

Landau, ma i parametri di Landau, che tengono conto in modo efficace dell'interazione, diventano dipendenti dalle variabili di posizione e di tempo e quindi dalla scala delle lunghezze, cioè dal parametro di scala del gruppo di rinormalizzazione, e coincidono con le rinormalizzazioni introdotte da Finkel'stein partendo dal modello di teoria dei campi. Questi parametri fluiscono con le equazioni del gruppo di rinormalizzazione e a seconda del tipo di impurezze (magnetiche o non) e di accoppiamento si hanno transizioni metallo–isolante indotte dall'interazione in presenza di disordine diverse sia dalla transizione di Mott che di Anderson. Al di là di una ristretta cerchia c'erano difficoltà ad entrare nel nuovo paradigma e a capire i risultati ottenuti con tecniche un po' fuori dagli standard dei fisici della materia condensata, tanto che perfino Mott, nonostante avessimo discusso personalmente a vari congressi, mi scrisse nell'ottobre del 1984 con richiesta di chiarificazione. Si domandava come potesse esserci una transizione metallo–isolante continua. Infatti applicando all'espressione di Drude per la conducibilità elettrica, o a forme valide per disordine debole, un concetto molto generale, in base al quale gli elettroni non possono propagarsi quando, a causa del disordine, il loro cammino libero medio è inferiore alla loro distanza media (criterio di Ioffe e Regel), si ottiene un valore minimo per la conducibilità, al di sotto del quale non si potrebbe andare nella fase metallica. Il criterio era giusto, ma non poteva essere applicato a nessuna espressione perturbativa singolare della conducibilità. Si dovevano curare con il gruppo di rinormalizzazione le anomalie presenti a causa dell'azione combinata del disordine e dell'interazione.

Un altro risultato interessante è che, mentre nella teoria della localizzazione di Anderson in due dimensioni l'effetto del disordine come trappola è così forte che gli elettroni sono sempre localizzati qualunque sia l'entità del disordine, nel caso interagente si genera un termine anti–localizzante con la possibilità di avere un metallo in due dimensioni [45]. Verso la fine dell'ultimo decennio del secolo scorso si perfeziona la tecnica di preparazione di sistemi elettronici bidimensionali e si trova per la prima volta un comportamento metallico [47] in un sistema bidimensionale e una transizione da metallo ad isolante, la cui natura è ancora fonte di discussione. Recentemente a Varenna ho fatto una presentazione didattica dei lavori di quegli anni [48], scritta insieme a Roberto Raimondi. Bene...è stato entusiasmante rendersi conto che una teoria complicata di rinormalizzazione si risolve in una teoria di Landau con i parametri di Landau che fluiscono



Figura 17.8: Sir Nevill Mott stringe la mano ad Antonio Ruberti in occasione del conferimento della Laurea *Honoris Causa*. Sulla destra Carlo Di Castro (Roma, Università “La Sapienza”, 1985).

secondo le equazioni del gruppo. Nel 1987, in un congresso a Tokyo, dove avevo fatto un sommario dei nostri risultati [49], la teoria fu messa in varie comunicazioni a confronto stretto con gli esperimenti, ma nel frattempo era esplosa la scoperta dei superconduttori ad alta temperatura critica.

17.9 La superconduttività ad alta temperatura

Quale fu la vostra reazione alla scoperta della superconduttività ad alta temperatura, nel 1986?

A quell'epoca la problematica dei sistemi elettronici disordinati era ancora molto calda, sia dal punto di vista teorico che sperimentale, ma viene oscurata dalla nuova problematica anche se noi abbiamo continuato a lavorarci per alcuni anni. Dopo la scoperta di J. G. Bednorz e K. A. Müller [50], che per decenni era stata la chimera degli sperimentali, si susseguono ra-

pidamente le scoperte di diverse famiglie di ossidi di rame superconduttori fino a raggiungere valori della temperatura critica ben al disopra della temperatura di liquefazione dell'azoto, di ben più facile reperibilità dell'elio, necessario per raffreddare il materiale al di sotto delle temperature critiche dei superconduttori classici. Risultò subito chiaro che la correlazione tra gli elettroni era importante per lo studio di questi materiali. Chi, come noi, si occupava di sistemi elettronici fortemente correlati, venne attratto dal tentare di costruire una teoria per questo nuovo tipo di superconduttori.

Perché anche in questo caso entra la forte correlazione tra gli elettroni? Quali sono le caratteristiche essenziali di questi materiali?

Tutti questi materiali sono costituiti da piani di rame e ossigeno inframezzati da strati di lantanio, ittrio, bario... a seconda delle varie famiglie. Nella loro composizione stechiometrica questi materiali sono isolanti antiferromagnetici pur avendo una lacuna elettronica libera per cella unitaria e quindi in base alla teoria a bande dovrebbero essere metallici. Di qui la necessità della presenza di una forte correlazione tra i portatori di carica, in questo caso le lacune elettroniche. Anche per questi sistemi, quindi, viene ritenuto valido da un punto di vista teorico l'uso del modello di Hubbard. Sostituendo ad esempio nel primo materiale scoperto il lantanio trivalente con lo stronzio bivalente, cioè drogando chimicamente, si aggiungono lacune e il sistema diventa un metallo, ma, a causa dei pochi portatori di carica presenti, un cattivo metallo, che tuttavia diventa superconduttore abbassando la temperatura.

Nella fase metallica si misura una forte anisotropia nella conducibilità elettrica che nei piani di rame ossigeno supera di vari ordini di grandezza quella trasversale: si ha quindi a che fare con un sistema di lacune elettroniche fortemente correlate quasi bidimensionali.

Nei superconduttori classici l'attrazione necessaria per la formazione di coppie elettroniche è mediata dai fononi, le eccitazioni elastiche del reticolo cristallino, come indicato dal cosiddetto effetto isotopico in base al quale la temperatura critica per l'instaurarsi della superconduttività dipende dalla massa isotopica dello ione reticolare. L'effetto isotopico o è assente o è anomalo nei nuovi superconduttori, così come è anomalo il comportamento nella fase metallica che non è in linea con i metalli ordinari e con quanto previsto dalla teoria dei liquidi normali di Fermi. Si è quindi aperto un dibattito a livello mondiale tra i fisici teorici se un sistema di lacune (o elettroni) fortemente correlate con un'occupazione di circa una lacuna per

17. Carlo Di Castro

sito reticolare di un sistema quasi bidimensionale possa diventare superconduttore, quali siano i nuovi stati di coppia e con quali meccanismi si possano formare. Allo stesso tempo si doveva capire la fase metallica anomala su cui si innesta la superconduttività, problema teorico forse ancor più stimolante. Allora comincia questa duplice avventura con Claudio Castellani, Marco Grilli, Sergio Caprara, laureandi, dottorandi, post-doc che di volta in volta abbiamo avuto come collaboratori, in particolare Walter Metzner che è stato con noi tre anni e che adesso è direttore di uno dei dipartimenti del Max Planck a Stoccarda.



Figura 17.9: Carlo Di Castro con Walter Metzner a Monaco nel 2005.

Come vi siete orientati?

Per prima cosa la quasi-bidimensionalità deve essere un fattore importante. L'altra domanda da porsi è come in un sistema in cui l'interazione tra cariche è così fortemente repulsivo si possa generare l'accoppiamento tra le cariche stesse, il "pairing" necessario per dar luogo alla superconduttività. Abbiamo avuto l'idea di riferirci alla separazione di fase, come avviene per i fluidi semplici dove si ha una separazione tra la fase liquida a basso volume specifico e la fase gassosa con volume specifico maggiore, che coesistono per temperature e pressioni inferiori ai valori critici. Nel caso degli ossidi di rame la separazione avverrebbe tra zone ricche e zone povere di porta-

tori di carica. In effetti la forte repulsione locale tra i portatori di carica, diminuendo la loro mobilità, che tende a rendere omogeneo il sistema, favorisce la possibilità di separazione di fase. In effetti tutti i modelli con forte repulsione locale che erano stati introdotti per rappresentare i piani rame-ossigeno mostravano separazione di fase in regioni ricche di carica e regioni povere di carica, come era stato mostrato per la prima volta in un modello derivato dal modello di Hubbard da V. J. Emery, con il quale avevo interagito a Birmingham, dove lui era lecturer quando io ero studente, e S. A. Kivelson. In più, oltre alla separazione di fase in vari altri modelli, noi scoprimmo che c'è formazione di coppie ogni volta che c'è separazione di fase, suggerendo una possibile connessione tra i due fenomeni. La disomogeneità di carica ci appariva come il meccanismo più semplice per raccordare la forte repulsione necessaria per avere un antiferromagnete isolante a basso drogaggio e un'attrazione necessaria per avere la superconduttività a drogaggi più alti. Se però si aggiunge un'interazione coulombiana a lungo raggio tra le cariche, costa troppa energia elettrostatica separare macroscopicamente la carica in regioni dello spazio diverse: la separazione di fase su scala macroscopica viene quindi impedita. Però abbiamo trovato che sotto particolari condizioni, a partire dal metallo omogeneo ad alto drogaggio, le disomogeneità di carica si possono realizzare localmente con una modulazione che risulta dal bilanciamento tra il guadagno in energia dovuto alla tendenza verso la separazione di fase del sistema in assenza di interazione coulombiana a lungo raggio ed il costo dovuto alla interazione stessa (separazione di fase frustrata). Emery, e Kivelson erano arrivati allo stesso concetto partendo dalla zona a basso drogaggio vicino alla fase isolante antiferromagnetica, in cui le poche cariche presenti venivano espulse dal substrato antiferromagnetico e preferivano allinearsi in strisce. Sperimentalmente fu poi osservato intorno a quegli stessi anni che, nella zona a basso drogaggio, effettivamente una modulazione di carica è presente in quella che si chiama la fase a strisce (stripe-phase).

Nei primi tempi, quando parlavamo di disomogeneità di carica venivamo considerati dei lunari. Un autorevole membro della nostra comunità scientifica al congresso di Interlaken nel 1988 a seguito del mio intervento sulle possibili interconnessioni tra le diverse componenti di carica affermò che semplici calcoli mostrano che è impossibile. Alex Müller invece ci aveva creduto fin dall'inizio tanto da organizzare vari congressi sull'argomento (ad Erice nel 1992 e a Cottbus nel 1993), nei cui atti [51] sono riassunti sia



Figura 17.10: C. Di Castro, G. Benedek e E. Sigmund con K. A. Müller a Erice nel luglio del 1995.

i nostri lavori che quelli di Emery e Kivelson di quel primo periodo. Questa idea della disomogeneità di carica corrispondeva almeno in parte all'idea di forte polarizzazione che aveva guidato Müller nella sua scoperta. Con Alex ho avuto sull'argomento una forte interazione e corrispondenza fino al 2001. Nel nostro approccio, combinando la forte repulsione per ridurre il termine cinetico con un'interazione residua attrattiva mediata dal reticolo, l'instaurarsi della fase con disomogeneità di carica avveniva come una instabilità critica [52] proprio ad un drogaggio corrispondente alla massima temperatura critica per l'instaurarsi della superconduttività. Le fluttuazioni associate a questa situazione critica possono essere i nuovi mediatori della superconduttività al posto dei fononi. Quindi avevamo trovato un meccanismo che dalla repulsione ci permetteva di arrivare alle coppie superconduttive e alla descrizione del diagramma di fase degli ossidi di rame [53].

E per la fase metallica sopra la temperatura critica?

Le stesse fluttuazioni critiche, per il formarsi della fase disomogenea di carica mediano un'interazione efficace tra le lacune sufficientemente forte da generare un comportamento anomalo della fase metallica non superconduttiva. Per spiegare il comportamento anomalo della fase metallica, Anderson [54] aveva suggerito di trasferire a due dimensioni (i piani di rame-ossigeno)



Figura 17.11: Erice, 6–12 maggio 1992, Workshop *Phase separation in cuprate superconductors* organizzato da K. A. Müller e G. Benedek. In prima fila: C. Castellani (terzo da sinistra), M. Grilli, H. Monien, G. Benedek, K. A. Müller, C. Di Castro, A. Bianconi. In seconda fila, alla sinistra di Castellani, V. J. Emery.

il comportamento anomalo presente in un metallo in una dimensione. In una dimensione, le cariche possono muoversi solo verso destra o verso sinistra e se il potenziale di diffusione in avanti è dominante, i due tipi di carica non possono mescolarsi. Oltre la conservazione della carica globale, si ha perciò la conservazione separata dei portatori verso sinistra e verso destra. Questo impone un vincolo ulteriore rispetto alla generica conservazione globale, che permette di risolvere il problema del trasporto con un comportamento anomalo rispetto alla teoria dei liquidi normali di Fermi. Con Claudio e Walter abbiamo mostrato [55] che per dimensioni maggiori di uno si ha sempre un comportamento in linea con la teoria di Landau dei liquidi normali di Fermi, a meno che l'interazione non sia sufficientemente singolare proprio come avviene vicino ad una instabilità critica. Ciò corrisponde a quanto abbiamo trovato con la separazione di fase frustrata, individuando così un'unica origine per la possibilità di formazione di cop-

pie e del metallo anomalo [56]. La dimostrazione con Claudio e Walter era anche questa volta ottenuta implementando a tutti gli ordini perturbativi i vincoli imposti dalle proprietà di simmetria valide nel caso unidimensionale ed estese in modo opportuno a dimensioni maggiori di uno.



Figura 17.12: International Seminar on high Temperature Superconductivity, Dubna 3–6 luglio 1990. Carlo Di Castro è accanto a Yuri Kagan (al centro in prima fila).

Recentemente, con Carmine Ortix e Josè Lorenzana, facendo riferimento alle diverse proprietà di schermaggio del campo elettromagnetico in due o tre dimensioni, abbiamo dimostrato che mentre in tre dimensioni ogni variazione locale di densità di carica rilassa esponenzialmente al valore costante su una distanza pari alla lunghezza di schermaggio, in due dimensioni la densità di carica varia con un andamento a potenza e nessuna limitazione è indotta sulla dimensione caratteristica della disomogeneità [57]. Si ha così una spiegazione del perché la separazione di fase frustrata come fenomeno fisico sia più frequente a bassa dimensionalità ed in particolare perché possa presentarsi come fenomeno rilevante nei piani degli ossidi di rame. La superconduttività ad alta temperatura, con tutte le sue ricadute, è il campo ancora aperto su cui stiamo lavorando.

All'inizio hai parlato del problema delle eccitazioni dell'elio, che in qualche modo era rimasto una questione sospesa rispetto a certe problematiche...

In effetti è la soluzione di un vecchio problema che non ha avuto una risonanza, perché ormai fuori moda. A causa della condensazione di Bose

si ha una teoria perturbativa singolare per un liquido stabile, non per un sistema critico. Come ho già ricordato anche un gas di Fermi interagente in una dimensione ha una teoria perturbativa singolare ed è un liquido stabile con comportamento metallico anomalo. Essendo lontani da ogni criticità, tutte le grandezze fisiche devono essere finite e le singolarità devono cancellarsi esattamente a tutti gli ordini perturbativi. Perché questo avvenga ci devono essere speciali proprietà di simmetria. Sfruttando queste proprietà addizionali, come avevamo fatto con Claudio e Walter per i fermioni, con Claudio, Giancarlo Strinati e Fabio Pistolesi riusciamo, con l'uso combinato del gruppo di rinormalizzazione e delle leggi di conservazione, come bene aveva visto Gianni Jona fin dall'inizio, a chiudere e risolvere le equazioni del gruppo dando una soluzione al problema pluridecennale [58].

Quindi dal punto di partenza siamo arrivati alla situazione attuale e poi di nuovo abbiamo chiuso il ciclo. Ho fatto un'analisi di tutta questa problematica in connessione con l'uso del gruppo di rinormalizzazione e delle proprietà di simmetria in fasi liquide quantistiche stabili e in fenomeni critici non convenzionali proprio in onore di Gianni per i suoi settanta anni [60].

17.10 La formazione di una scuola e la sperimentazione organizzativa dell'Università

Qual è stata l'attività didattica e di formazione che si è creata intorno a queste ricerche?

In questi ultimi decenni con Claudio siamo riusciti partendo da zero a creare nel dipartimento una scuola sulla teoria della materia condensata, nota a livello internazionale ("The Roman Group", come viene comunemente indicato tra i colleghi stranieri). Dal punto di vista della didattica, negli anni sono stati introdotti argomenti che prima non venivano nemmeno sfiorati, a partire da quando con Careri cominciammo a tenere costantemente seminari a metà tra l'informazione scientifica e la formazione. Sia per la ricerca che per la didattica il dipartimento ora è estremamente più ricco e articolato in diverse direzioni oltre la fisica delle particelle elementari, anche in campi a noi vicini, basti pensare agli apporti di Daniel Amit, Marzio Cas-sandro, Giovanni Ciccotti, Giovanni Gallavotti, Francesco Guerra, Gianni Jona, Giorgio Parisi, Miguel Virasoro, Luciano Pietronero... , diventando

leader in campi di ricerca che non erano nemmeno presenti quarantacinque anni fa quando ho cominciato la mia avventura nella fisica.

Potremmo finire qui, tuttavia vorrei ancora ricordare un'esperienza organizzativa, che ha avuto un certo impatto sull'università di Roma ma che poi è rimasta, come per tutto il paese, una riforma incompleta del sistema universitario per carenze che purtroppo permangono. Mi riferisco all'esperienza che ho avuto nell'ambito della Commissione di Ateneo per la Sperimentazione Didattica e Organizzativa che ho guidato per un anno a cavallo tra il 1982 e il 1983. Per tre anni, rettore Antonio Ruberti, alternandoci alla guida della Commissione con Paolo Massacci e Bianca Maria Tedeschini Lalli abbiamo riorganizzato la nostra mastodontica università in strutture più agili, come i dipartimenti. Fu un processo entusiasmante che coinvolse un gran numero di docenti di tutte le facoltà. Per la nostra facoltà non fu una grande rivoluzione ma ti assicuro che per l'università in genere diede inizio ad un cambiamento di grande portata, anche se, come dicevo, le aspettative di allora non hanno trovato completo adempimento. Riporto passi di un'intervista [60] che mi fu richiesta nel 1983 a conclusione della mia presidenza perché mi pare che purtroppo tali problematiche siano ancora attuali. In riferimento alla riorganizzazione in dipartimenti, centri interdipartimentali di servizi e di ricerca, così commentavo:

“Con i centri di servizi si vuole fornire una struttura funzionante all'Ateneo (un'esigenza particolarmente avvertita nell'Università di Roma in conseguenza delle sue macroscopiche dimensioni), mentre con i centri per la ricerca si dovrebbero garantire le connessioni fra le varie strutture dipartimentali per porre le basi sia di una ricerca interdisciplinare, sia di un proficuo rapporto con gli enti esterni all'università ed arrivare ad un'innovazione tecnologica effettiva. Questi ultimi potrebbero, quindi, costituire l'anello mancante nella struttura italiana fra ricerca di base e ricerca applicata. Questo passaggio, dall'acquisizione delle proposte alla progettazione di un quadro completo di organizzazione della ricerca, rappresenta un salto di qualità che ogni Commissione di Ateneo, in particolare quella di Roma, dovrebbe tentare di attuare in questa fase della sperimentazione. . . Le motivazioni comuni alle varie proposte (di dipartimentalizzazione) sono effettivamente indirizzate alla creazione di una nuova organizzazione della cultura, nell'università, in cui il momento di produzione della ricerca, sia essa scientifica propriamente detta od umanistica, dovrebbe trovare la sua espressione naturale nei dipartimenti. La ricerca in Italia si è sempre svi-

luppata secondo temi, tempi e modi tutti interni alla ricerca stessa, anzi al singolo ricercatore o, al più, al gruppo di ricerca di cui egli fa parte. È chiaro, quindi, che gli aspetti conoscitivi generali, che maggiormente gratificano il singolo ricercatore, costituiscono il profilo predominante della ricerca. Questi temi e queste motivazioni debbono continuare a costituire un momento importante e necessario della ricerca di base, ma non possono esaurirla, in quanto privilegiano la figura del ricercatore isolato nella torre d'avorio rispetto alla possibilità di formazione di scuole di ricerca. Le strutture dipartimentali, imponendo un confronto aperto e un coordinamento dei programmi di ricerca, dovrebbero, pur nella garanzia della libertà del singolo ricercatore, favorire l'aggregazione e, quindi, la formazione di scuole.

Un altro aspetto da non trascurare, almeno considerando gli schemi moderni di produzione della ricerca, è che, fatta naturalmente salva l'elaborazione e il ripensamento del singolo ricercatore, gran parte della ricerca stessa è perdente nel contesto internazionale, se non si supera una soglia minima di aggregazione e di organizzazione. Le strutture dipartimentali dovrebbero, quindi, servire ad evitare il paventato processo di liceizzazione (soprattutto nella formazione) delle università e ad ottenere il loro inserimento in un ambito scientifico di livello internazionale.”

Per quanto riguarda la ricaduta per il paese della ricerca universitaria affermavo:

“Come ho già detto a proposito dei centri, non si tratta, quindi, di capovolgere il rapporto fra ricerca fondamentale e ricerca finalizzata nell'università, ma di creare l'apparato di trasmissione (competenze di carattere ingegneristico, economico e manageriale che affianchino la ricerca) necessario a questo scopo. Sarebbe essenziale, a questo punto, svolgere un'ampia analisi sulle motivazioni che sono alla base della scarsa influenza reciproca fra industria e ricerca. In assenza di una tradizione e di un apparato atto ad assorbire e rielaborare i prodotti della ricerca per una loro utilizzazione “esterna”, risulta scarsamente proficuo, se non molto spesso addirittura dannoso, definire a priori come utili i programmi finalizzati. Mentre attualmente l'innovazione tecnologica, che risponde alle esigenze delle industrie, è solo marginale (da un punto di vista scientifico) ed è legato alla riduzione dei costi e alla difesa del proprio mercato, quindi, in sostanza, ad una mera analisi del processo di produzione, la ricerca universitaria rimane basata sugli aspetti conoscitivi generali. Colmare tale divario richiede uno sforzo



Figura 17.13: Carlo Di Castro entra a far parte dell'Accademia dei Lincei come Membro Corrispondente (1997).

enorme di tutte le componenti coinvolte. Proprio in ragione della mancanza di questo sforzo, tutte le ventilate riconversioni industriali si sono fin qui risolte in semplici operazioni di salvataggio”.

Contemporaneamente mettevò in guardia da una troppo stretta contaminazione tra incarichi professionali e ricerca. I dipartimenti devono rimanere soggetti di ricerca e non venir riassorbiti nel ruolo di riserva di produttori di servizi, qualunque siano la natura e la fonte delle commesse:

“Negli ultimi anni il processo di scolarizzazione di massa ha lanciato una sfida ai docenti universitari: come preservare un livello adeguato di insegnamento e di qualificazione scientifica, stante la crescita enorme delle nostre università. L'unica risposta che si può fornire a questa sfida passa attraverso un coordinamento della didattica, che ne assicuri un'organizzazione efficiente e razionale. Il singolo docente non può far fronte, pur con tutta la sua buona volontà, ai problemi suscitati da una università di massa. . . Questo discorso ci porta automaticamente a considerare l'altro aspetto del quadro organizzativo, che si va maturando nelle università italiane, costituito dal rapporto fra la comunicazione della ricerca da un lato

e la formazione dei quadri dall'altro. Il dottorato di ricerca dovrebbe porsi alla base di tale processo. Le norme istitutive del dottorato, tuttavia, forse introdotte per un eccesso di garantismo, possono comportare un suo appiattimento e livellamento su scala nazionale. Eliminare il valore legale del titolo di dottorato da un lato, snellire le procedure per la formazione delle commissioni di esame dall'altro (assegnando una maggiore responsabilità al docente che ha seguito la ricerca o al gruppo dei docenti delle scuole di dottorato) potrebbero, forse, servire a vitalizzare questo nuovo istituto. Un altro aspetto da non sottovalutare in questo contesto è rappresentato dalle scuole di aggiornamento professionale”.

Concludevo con i seguenti auspici:

“In questi ultimi due anni si è tanto parlato di riorganizzazione della ricerca; si deve invece, a mio avviso, parlare, almeno negli intenti di chi si è impegnato nella commissione di sperimentazione, di riorganizzazione della cultura nei suoi tre momenti di produzione (ricerca), di trasmissione (didattica, formazione di quadri e divulgazione) e di utilizzazione (formazione di strutture adeguate alla rielaborazione finalizzata della ricerca di base). Per far sì che il quadro organico che si sta elaborando non rimanga nel mondo dei sogni è necessario che i politici, i burocrati, i tecnocrati, le strutture portanti del paese in ultima analisi, oltre a fornire mezzi adeguati, cambino il loro atteggiamento e la loro predisposizione verso la ricerca universitaria. Un loro atteggiamento ricettivo, una struttura statale più efficiente permetterebbero di superare quel divario che impedisce attualmente l'utilizzazione di tutto il 'know how' universitario: conoscenze raffinate di mezzi tecnici e di indagine sono inutili se mancano le strutture e le mentalità atte a recepire. È, però, anche vero che, affinché i progetti di riforma si traducano in realtà operativa, tutte le componenti universitarie (e in primo luogo noi docenti e ricercatori) dovranno operare a tempo pieno e con costante impegno, coscienti di lavorare per un vasto progetto culturale atto a fornire l'anima critica e innovativa del paese”.

Il sogno di un efficace coordinamento per formazione di scuole, sia per la ricerca che per la didattica è stato soffocato da una eccessiva regolamentazione e dalla proliferazione di nuove strutture senza che le vecchie fossero assorbite con duplicazione di impegni formali a scapito del vero lavoro formativo. Con amarezza devo constatare che, dopo tanti anni siamo ancora in mezzo al guado.

Bibliografia

- [1] F. Tagliacozzo, B. Migliau, *Gli ebrei nella storia e nella società contemporanea*, La Nuova Italia, Scandicci (Fi), 1993; M. Sarfatti, *Gli ebrei nell'Italia fascista*, Einaudi, Torino, 2000.
- [2] Legge 29.06.1939 N. 54: Disciplina dell'esercizio delle professioni da parte di cittadini di razza ebraica. Richiesta di provvedere "tempestivamente alla (propria) denuncia" pervenuta con lettera del 12.08.1939 a firma dell'arch. Plinio Marconi, segretario del Sindacato Interprovinciale Fascista Architetti. (Archivio Arch. A. Di Castro).
- [3] A. Pacifici, *I discorsi sullo Shemà*, Casa editrice Israel, Roma, 1953.
- [4] B. Berenson, *I pittori italiani del Rinascimento*, Hoepli, Milano, 1948.
- [5] R. Longhi, *Piero Della Francesca*, Hoepli, Milano, 1946.
- [6] R. Courant e H. Robbins, *Che cosa è la matematica*, Einaudi, Torino, 1950.
- [7] E. Schrödinger, *Statistical Thermodynamics*, Cambridge University Press, 1957.
- [8] Paul A. M. Dirac, *I principi della meccanica quantistica*, Boringhieri, 1959.
- [9] N. Bogolubov, On the theory of superfluidity, *J. Phys. (USSR)* 11, 23 (1947).
- [10] J. Bardeen, L. Cooper, R. Schrieffer, Theory of superconductivity, *Phys. Rev.* 108, 1175 (1957).
- [11] M. Girardeau e R. Arnowitt, Theory of many-boson system: pair theory, *Phys. Rev.* 113, 755 (1959).
- [12] Giorgio Careri (a cura di), *Liquid Helium*, XXI corso Varenna, Academic Press, New York, 1963.
- [13] N. Hugenholtz e D. Pines, Ground-state energy and excitation spectrum of a system of interacting bosons, *Phys. Rev.* 116, 489 (1959).
- [14] J. Gavoret e P. Nozières, *Ann. Phys. (N. Y.)* 28, 349 (1964).
- [15] C. Di Castro, *Lezioni di Fisica dei Superfluidi*, Scuola di Perfezionamento in Fisica dell'Università di Roma (1965).
- [16] C. Di Castro e W. Young, Density matrix methods and time dependence of order parameter in superconductors, *Il Nuovo Cimento* 62 B, 273–300 (1969).
- [17] L. P. Kadanoff *et al.*, Static phenomena near critical points: theory and experiment, *Rev. Mod. Phys.* 39, 395 (1967); A. Z. Patashinkij e V. L. Pokrovkij, *Sov. Phys. JETP* 19, 677 (1964); *ibid.* 23, 292 (1966).
- [18] L. Landau, On the Theory of Superfluidity of Helium II, *J. Phys. (USSR)* 11, 91 (1947).
- [19] L. Landau, The Theory of a Fermi Liquid, *Sov. Phys. JETP* 3, 920 (1957); *ibid.* 8, 104 (1958).
- [20] D. Pines, *The Many-Body Problem*, W. A. Benjamin, New York, 1961; A. A. Abrikosov, L. P. Gor'kov e L. Ye. Dzyaloshinskii, *Quantum Field Theoretical Problems In Statistical Mechanics*, Pergamon Press, 1965.
- [21] L. Landau, *Sov. Phys. JETP* 7, 19 (1937).

- [22] M. Gell-Man e F. Low, *Phys. Rev.* 95, 1300 (1954); N. Bogolubov e P. V. Shirkov, Introduction to the Theory of Quantized Fields, Interscience Publishers, New York 1959; V. L. Bonch-Bruevich e S. V. Tyablikov, The Green's Function Method in Statistical Mechanics, North-Holland, Amsterdam, 1962.
- [23] C. Di Castro e G. Jona-Lasinio, On the Microscopic Foundation of Scaling Laws, *Phys. Lett.* 29 A, 322–323 (1969).
- [24] M. S. Green (a cura di), *Critical Phenomena*, LI corso Varenna, Academic Press, New York, 1971; F. De Pasquale, C. Di Castro e G. Jona-Lasinio, Field theory approach to phase transitions, *ibid.* pp. 123–156.
- [25] K. G. Wilson e J. Kogut, The renormalization group and the ε expansion, *Phys. Rep.* C 12, 75 (1974).
- [26] K. G. Wilson, The Renormalization Group and Critical Phenomena, *Rev. Mod. Phys.* 55, 583 (1983).
- [27] K. G. Wilson, Renormalization Group and Critical Phenomena. I. Renormalization Group and the Kadanoff Scaling Picture, *Phys. Rev.* B 4, 3174 (1971); *ibid.*, Renormalization Group and Critical Phenomena. II. Phase-Space Cell Analysis of Critical Behavior, 3184 (1971).
- [28] C. Di Castro, F. Ferro-Luzzi e J. A. Tyson, Dynamical scaling laws and time dependent Landau-Ginzburg equation, *Phys. Letters* 29 A, 458–459 (1969).
- [29] K. G. Wilson e M. E. Fisher, Critical Exponents in 3.99 Dimensions, *Phys. Rev. Lett.* 28, 240 (1972); K. G. Wilson, Feynman-Graph Expansion for Critical Exponents, *Phys. Rev. Lett.* 28, 548 (1972).
- [30] C. Di Castro, The multiplicative renormalization group and the critical behavior in $d=4-\epsilon$ dimensions, *Lettere al Nuovo Cimento* 5, 69–74 (1972).
- [31] J. D. Gunton e M. S. Green (a cura di), *Proceedings Conference on the Renormalization Group in Critical Phenomena and Quantum Field Theory* May 29–31, Philadelphia 1973; *Ibid.* C. Di Castro, Unified derivation of scaling from renormalization group and thermodynamic functionals; C. Di Castro, G. Jona-Lasinio e L. Peliti, Variational principles, renormalization group and Kadanoff's universality, *Annals of Physics* 87, 327–353 (1974).
- [32] C. Domb e M. Green (a cura di), *Phase Transitions and Critical Phenomena*, Academic Press, New York.
- [33] C. Di Castro, A new model hamiltonian for a correlated electron system within the general framework of critical phenomena and phase transitions, in: *Perspectives in statistical mechanics*, a cura di H. J. Raveché, North Holland, Amsterdam 1981, pp.139–154.
- [34] C. Castellani e C. Di Castro, Arbitrariness and symmetry properties of the functional formulation of the Hubbard hamiltonian, *Phys. Letters* 70 A, 37–40 (1979); C. Castellani, C. Di Castro e J. Ranninger, Decimation approach in quantum systems, *Nuclear Physics* B 200 [FS4] 45–60 (1982).
- [35] C. Castellani, C. Di Castro, D. Feinberg, e J. Ranninger, A new model ha-

- miltonian for the metal–insulator transition, *Phys. Rev. Lett.* 43, 1957–1960 (1979).
- [36] A. Georges *et al.*, Dynamical mean-field theory of strongly correlated fermion systems and the limit of infinite dimensions, *Reviews of Modern Physics* 68, 13 (1996).
- [37] C. Castellani, C. Di Castro e L. Peliti (a cura di), *Disordered systems and localization*, Proceedings of the Conference Rome, May (1981), Springer–Verlag, Berlin, Heidelberg 1981.
- [38] L. P. Gorkov, A. I. Larkin e D. E. Khmel’nitskii, *JETP Lett.* 30, 228 (1979).
- [39] P. W. Anderson, Absence of Diffusion in Certain Random Lattices, *Phys. Rev.* 109, 1492 (1958).
- [40] E. Abrahams, P. W. Anderson, D. C. Licciardello e T. V. Ramakrishnan, Scaling Theory of Localization: Absence of Quantum Diffusion in Two Dimensions, *Phys. Rev. Lett.* 42, 673 (1979); F. Wegner, *Z. Phys.* B 25, 327 (1976).
- [41] B. Altshuler e A. G. Aronov, *JETP Lett.* 30, 514 (1979); B. Altshuler, A. G. Aronov e P. A. Lee, Interaction Effects in Disordered Fermi Systems in Two Dimensions, *Phys. Rev. Lett.* 44, 1288 (1980).
- [42] C. Castellani, C. Di Castro, G. Forgacs e E. Tabet, Towards a microscopic theory of the metal–insulator transition, *Nuclear Physics B* 225 [FS] 441–465 (1983).
- [43] G. S. Grest, P. A. Lee, Scaling Theory of Interacting Disordered Fermions, *Phys. Rev. Lett.* 50, 693 (1983).
- [44] A. M. Finkel’stein, *Sov. Phys. JETP* 57, 97 (1983).
- [45] C. Castellani, C. Di Castro, P. A. Lee e M. Ma, Interaction driven metal–insulation transitions in disordered fermions, *Phys. Rev. B* 30, 527–543 (1984); A.M. Finkel’stein, *Z. Phys.* 56,189 (1984) e *Sov. Phys. JETP* 59, 212, (1984); C. Castellani, C. Di Castro, P. A. Lee, M. Ma, S. Sorella e E. Tabet, Spin fluctuations in disordered interacting electrons, *Phys. Rev. B Rapid Communications* 30, 1596–1598 (1984); C. Castellani, C. Di Castro, P. A. Lee, M. Ma, S. Sorella e E. Tabet, Enhancement of the spin susceptibility in disordered interacting electrons and the metal–insulator transition, *Phys. Rev. B* 33, 6169–6176 (1986).
- [46] A. L. Altshuler, A. G. Aronov, Fermi-liquid of the electron-electron interaction effects in disordered metals, *Solid State Commun.* 46, 435 (1983); C. Castellani e C. Di Castro, Effective Landau theory for disordered interacting electron systems: specific heat behavior, *Phys. Rev. B* 34, 5935–5938 (1986); C. Castellani e C. Di Castro, Metal–insulator transition and Landau Fermi liquid theory, in *Localization and metal–insulator transitions*, a cura di H. Fritzsche e D. Adler, pp. 215–227, Plenum Publishing Corporation N.Y. 1985. In onore di N. H. Mott.
- [47] S. V. Kravchenko e M. Sarachik, Metal-insulator transition in two-dimensional electron systems, *Rep. Prog. Phys.* 67, 1 (2004).
- [48] C. Di Castro e R. Raimondi, Disordered electron systems. Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi on *The Electron Liquid Paradigm in*

- Condensed Matter Physics*, Varenna 29 July–8 August 2003. Proceedings a cura di G. F. Giuliani e G. Vignale. pp. 259–333 IOS Press (2004).
- [49] T. Ando e H. Fukuyama (a cura di), *Anderson Localization–International Symposium*, Tokyo 16–18 August 1987, Springer Verlag, Berlin (1988); *ibid.* C. Di Castro, Renormalized Fermi liquid theory for disordered electron systems and the metal–insulator transition, pp. 96–106.
- [50] J. G. Bednorz e K. A. Müller, Possible high-Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system, *Z. Phys. B* 64, 189 (1986).
- [51] K. A. Müller e G. Benedeck, (a cura di), *Phase separation in cuprate superconductors*, Erice May 6–12, 1992. World Scientific, Singapore 1993; K. A. Müller e E. Sigmund (a cura di), *Phase separation in cuprate superconductor*, Cottbus, September 4–10. 1993. Springer Verlag 1994.
- [52] C. Castellani, C. Di Castro e M. Grilli, Singular quasiparticle scattering in the proximity of charge instabilities, *Phys. Rev. Lett.* 75, 4650–4653 (1995).
- [53] S. Andergassen, S. Caprara, C. Di Castro, M. Grilli, Anomalous isotopic effect near the charge–ordering quantum criticality, *Phys. Rev. Lett.* 87, 056401 (2001).
- [54] P. W. Anderson, Luttinger-liquid behavior of the normal metallic state of the 2D Hubbard model, *Phys. Rev. Lett.* 64, 1839 (1990); Singular forward scattering in the 2D Hubbard model and a renormalized Bethe ansatz ground state, *Phys. Rev. Lett.* 65, 2306 (1990).
- [55] C. Castellani C. Di Castro e W. Metzner, Dimensional crossover from Fermi to Luttinger liquid, *Phys. Rev. Lett.* 72, 316–319 (1994); W. Metzner, C. Castellani e C. Di Castro, Fermi Systems with Strong Forward Scattering, *Adv. in Phys.* 47, 317–445 (1997); C. Castellani, C. Di Castro e W. Metzner, Instability of anisotropic interacting Fermi systems, *Phys. Rev. Lett.* 69, 1073–1076 (1992).
- [56] C. Castellani, C. Di Castro e M. Grilli, Non–Fermi Liquid behaviour and d–wave superconductivity near the charge density wave quantum critical point, *Zeit. für Phys. B* 103, 137–144 (1997); C. Castellani, C. Di Castro e M. Grilli, Stripe formation: A quantum critical point for cuprate superconductors, *J. of Phys. and Chem. of Sol.* 59, 1694–1698 (1998).
- [57] C. Ortix, J. Lorenzana e C. Di Castro, Frustrated phase separation in two–dimensional charged systems, *Phys. Rev. B* 73, 245117 (2006).
- [58] C. Castellani, C. Di Castro, F. Pistolesi e G. Strinati, Infrared behavior for interacting bosons at zero temperature, *Phys. Rev. Lett.* 79, 1612 (1997); F. Pistolesi C. Castellani, C. Di Castro e G. C. Strinati, Renormalization group approach to the infrared behavior of a zero-temperature Bose system, *Phys. Rev. B* 69, 024513 (2004).
- [59] C. Di Castro, R. Raimondi e S. Caprara, Renormalization group and Ward Identities in quantum liquid phases and in unconventional critical phenomena, *J. Stat. Phys.* 115, 91–123 (2004).
- [60] *Rassegna sulla Sperimentazione Organizzativa e Didattica nelle Università*, pp. 95–98, Vol. 2, n. 2 (1983).

Capitolo 18

Giulia Pancheri

Giulia Pancheri è nata a Milano nel 1941, da padre medico del lavoro e madre insegnante elementare. Dal padre prese l'interesse per l'aspetto scientifico del mondo, da entrambi i genitori il desiderio di fare bene gli studi. Nel 1950 la famiglia si trasferì a Roma, dove Giulia frequentò lo storico liceo Torquato Tasso di Via Sicilia, dove si formarono diversi fisici romani, fra cui anche Nicola Cabibbo. All'Università, si iscrisse prima a filosofia e poi, superata l'opposizione della famiglia, a fisica nel 1960. Nel febbraio del 1966 si laureò con Benedetto De Tollis con una tesi in Elettrodinamica Quantistica e, qualche mese dopo, ottenne una borsa di studio del CNEN per lavorare nel gruppo teorico guidato da Bruno Touschek presso i Laboratori Nazionali di Frascati del CNEN. Nel novembre 1967 lasciò i Laboratori e l'Italia per stabilirsi a Boston, negli USA, e sposare Yogi Srivastava, un fisico indiano che aveva conosciuto a Roma, dove era stato invitato da Nicola Cabibbo a fare lezioni sui poli di Regge alla Scuola di Perfezionamento. A Boston, Giulia Pancheri rimase fino al 1982, insegnando prima a tempo parziale e poi a tempo pieno presso la Northeastern University di Boston. In questo periodo vinse una borsa di studio presso il Radcliffe Institute for Independent Studies, istituito presso l'Università di Harvard, per donne studiose in qualsiasi campo. Grazie a ciò, Giulia Pancheri divenne Alumna del Radcliffe College. Nel 1980 Giulia Pancheri partecipò a un concorso della National Science Foundation (che vinse) per finanziare un progetto dal titolo *Women in Science* diretto a recuperare donne con un dottorato in fisica o in chimica, e reinserirle nel mondo della ricerca pubblica e privata. Nel 1982, dopo la nascita di due figli nel 1972 e 1977, tentò di ottenere un posto permanente alla Northeastern University, senza successo, decidendo quindi di trasferirsi, assieme alla famiglia, di nuovo a Roma, con il posto di ricercatore presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Nel 1987 vinse il Concorso di Professore Associato in Fisica Teorica, che ricoprì

presso l'Università di Palermo. Nel 1991 vinse il concorso di Dirigente di Ricerca dell' INFN e ritornò per la terza e ultima volta a Frascati, dove lavora tuttora. In questi anni ha pubblicato circa 200 lavori su riviste o volumi scientifici internazionali, i più importanti dei quali sono nel campo delle correzioni radiative a processi di alta energia. Giulia Pancheri è stata presidente del Comitato Nazionale per le Pari Opportunità dell'INFN, dal 1992 al 2006 è stata coordinatore europeo di tre successivi networks di ricerca e formazione finanziati dalla Comunità Europea, EURODAPHNE I, EURODAPHNE II, EURIDICE, ed è attiva partecipante a molti Comitati di Valutazione per la Ricerca presso la Comunità Europea. Negli ultimi anni, ha iniziato ad occuparsi di storia dei Laboratori di Frascati, collaborando attivamente a presentare la figura di Bruno Touschek sia tramite pubblicitaria che tramite presentazioni in Italia e all'estero. Ha fondato ed è Coordinatrice della Spring School "Bruno Touschek che si svolge a Frascati ogni anno, dal 1996 ad oggi.



Figura 18.1: Giulia Pancheri nel 1966

18.1 Introduzione

Nel maggio 1966, ai Laboratori di Frascati, dove si procedeva attivamente verso il commissionamento di Adone, cominciammo il lavoro sulle correzioni radiative agli esperimenti di collisioni fra elettroni e positroni [1].

Eravamo un terzetto alquanto inusuale: Bruno Touschek con il suo spirito mitteleuropeo e la sua profonda intuizione e conoscenza della fisica, Etim Gabriel Etim, un giovane nigeriano, che stava laureandosi con Touschek, vestiva e parlava come un perfetto inglese, ed io, una delle ragazze che si erano iscritte a fisica alcuni anni prima, nell'entusiasmo del lancio dello Sputnik e delle lezioni che teneva Giorgio Salvini alla Televisione. Noi ragazze, all'inizio, eravamo una ventina, su una classe di circa 200, e in questa percentuale, il 10%, arrivammo anche alla laurea. Fra di noi c'era Pucci De Stefano (che poi sposò Luciano Maiani) e che era la più brillante fra tutte, e poi Angelica Borgese, Giuliana Conforto, poco più tardi Alessandra Pugliese e Mariella Paciello. Pucci ed Angelica erano le mie amiche del cuore, tutte e due ragazze eccezionali, e molto diverse l'una dall'altra. Pucci era espansiva ed allegra, faceva delle grandi feste dove la mamma, di origine parmigiana, preparava degli eccezionali ravioli con le erbetto, che tutti ricordiamo dopo tanto tempo. Angelica era la nipote di Thomas Mann, veniva da un'estrazione internazionale, raccontava di quando da bambina andava a casa di Einstein (con il nonno) e conosceva Marlon Brando. Sia Pucci che Angelica si laurearono con Francesco Calogero, la prima sulla teoria dello scattering da potenziale, Angelica sui poli di Regge, che stavano diventando l'argomento teorico di punta nelle interazioni forti. Io feci la mia tesi con Benedetto De Tollis, che, all'epoca, era assistente di Enrico Persico al corso di Fisica Teorica ed è stato uno dei migliori insegnanti che gli studenti di Roma e, più tardi, di Perugia abbiano mai avuto. In quegli anni, il gruppo teorico stava tutto nelle stanze del corridoio ad U che si sviluppa immediatamente a destra dopo il ballatoio della biblioteca del terzo piano dell'Istituto di Fisica. C'era un telefono, a metà del corridoio, e a questo numero spesso telefonavano persone che volevano risposte alle domande più strane, come quando qualcuno chiese cosa era la scala cromatica.

Per poter fare una tesi teorica occorre avere una media alta e saper risolvere un problema teorico. Il problema, che De Tollis mi assegnò, era di scrivere la sezione d'urto per lo scattering pioni fotone in elettrodinamica quantistica. Riuscii a risolverlo (anche grazie all'aiuto di amici che mi

dissero dove si trovava già risolto nella letteratura...) e De Tollis accettò di farmi laureare con lui sul problema della coalescenza e decadimento di fotoni su un nucleo, che corrispondeva a processi del tipo *fotone nucleo in fotone fotone* e viceversa.

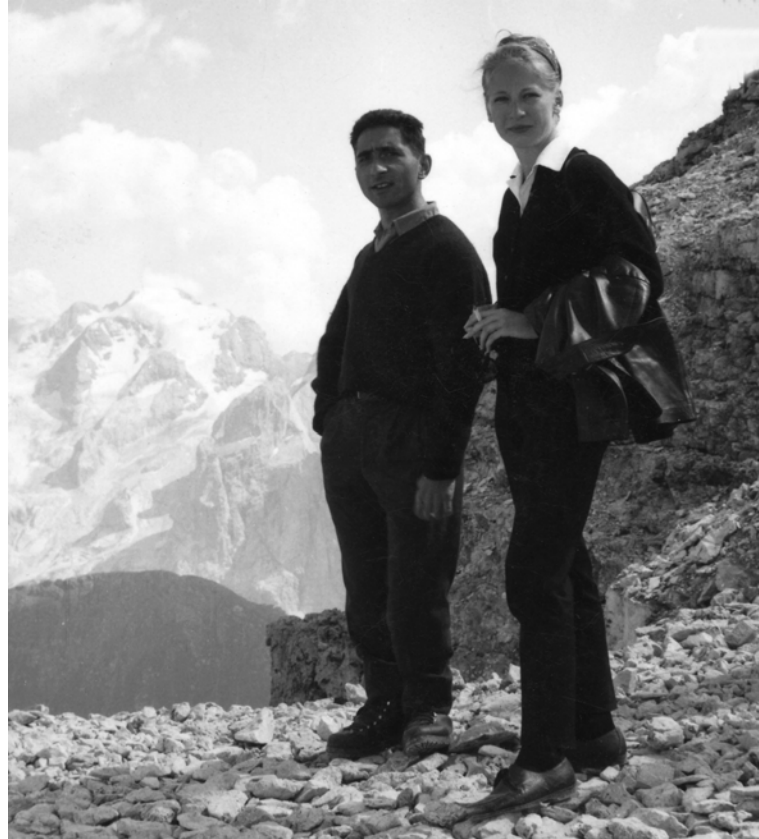


Figura 18.2: Giulia Pancheri e Mario Tonin dell'Università di Padova, durante una vacanza sulle Dolomiti nel 1966.

Mi laureai nel febbraio 1966. Fu un grande sforzo, come è per tutti quando si laureano, come peraltro anche gli anni di studio lo erano stati, anche perchè io non credevo di potercela fare, mi sembrava sempre che nessuno avrebbe potuto prendermi sul serio come fisico.

Non mi aspettavo certo di trovare un modo di continuare. Furono due miei compagni di corso, Paolo Di Vecchia e Giancarlo Rossi, che si stavano

laureando con Touschek, a dirmi che, ai Laboratori Nazionali di Frascati, Touschek stava formando un nuovo gruppo teorico e che c'era la possibilità di ottenere una borsa di studio. Così, un giorno, ai primi di marzo 1966, al ritorno dai canonici quindici giorni di vacanza post-laurea, ero andata a bussare alla porta dello studio di Touschek, su al secondo piano dell'Istituto di Fisica, ed ero stata incredibilmente accettata da Touschek a far parte del gruppetto che si stava formando a Frascati, in concomitanza con l'attesa sperimentazione ad Adone.

Per molto tempo io non riuscii a capire perchè Touschek mi avesse accettato nel suo gruppo. A posteriori capisco che la tesi in Elettrodinamica Quantistica sotto la guida di De Tollis e la buona opinione che il relatore aveva di me furono il motivo per cui fui accettata nel gruppo. Touschek infatti cercava dei giovani che sapessero fare calcoli di QED e collaborare allo studio dei vari processi che si sarebbero studiati ad Adone.

Adone era stato proposto da un gruppo di fisici di Roma e di Frascati [2] cinque anni prima, quando il successo di AdA [3], il primo anello di accumulazione fra positroni ed elettroni, aveva indicato la strada degli acceleratori del futuro, quelli fra materia ed antimateria. Touschek era preoccupato, già da diverso tempo, del fatto che quando Adone fosse entrato in funzione, non ci fossero forze adeguate, fra fisici teorici e sperimentali, per estrarre la fisica dagli esperimenti, come ricorda Ugo Amaldi [4]. E, in questo contesto, aveva ripreso, già da un paio d'anni, ad occuparsi del problema delle correzioni radiative agli esperimenti con elettroni, un problema non nuovo, ma che non era ancora stato affrontato da un punto di vista fenomenologico ad energie così alte. Quando io arrivai a Frascati, parecchio lavoro su questo problema era già stato fatto, e molto era in corso, sia da parte di Mario Greco e Giancarlo Rossi, sia da Ugo Amaldi e Etim Etim, in forma di note interne dei Laboratori. Io ebbi la fortuna di scrivere con Touschek e con EtimindexEtim, G. E. un lavoro che, incorporando molto di quello che si era già fatto e formulandolo in una forma estremamente elegante, ma assolutamente pratica, divenne il punto di partenza per molte altre applicazioni.

In questa nota, cercherò di raccontare la storia di questo lavoro, che i fisici di Roma e Frascati hanno ricordato per anni come il lavoro del *Bond factor*. In realtà, io cercherò di ricostruire come Touschek arrivò a questo lavoro e così facendo spero di mettere in evidenza un ulteriore importante contributo dato da Touschek alla fisica contemporanea, la risommazione dei quanta

di bassissima energia. Touschek non fu il primo a lavorarvi ma l'enfasi che lui pose su questo problema nel contesto di una macchina di punta quale era Adone, ebbe una grande influenza. La rilevanza che questo lavoro di Touschek venne ad avere, ed ha tuttora, si può vedere dai diversi lavori assolutamente originali fatti dal gruppo di Frascati [5, 6, 7, 8], fra cui i più noti sono forse l'applicazione di questo metodo alla produzione della J/Ψ [7] prima, e dello Z_0 [8] dopo. Verso la fine degli anni '70 venne anche l'estensione alla QCD, dove il problema della risommazione nelle interazioni forti è ancora di grande attualità.

Poichè è mio desiderio ricostruire il percorso scientifico che lega la vita di Touschek al trattamento finale dei fotoni soffici da lui proposto, è indispensabile riprendendere parte del materiale dagli articoli scientifici originali, che costituiscono i pezzi della storia, e sono scritti in inglese: quindi il resto di questa nota sarà scritto in inglese.

18.2 The Bloch–Nordsieck paper

In 1937 [9] Bloch and Nordsieck (BN) observed that previous methods of treating radiative corrections to scattering processes were defective in that they predicted infinitely low frequency corrections to the transition probabilities. This was evident from the $d\omega/\omega$ spectrum for single photon emission in electron scattering in a Coulomb field as described by Mott and Sommerfeld [10] and by Bethe and Heitler [11]. BN had noticed that, while the ultraviolet difficulties are already inherent in the classical theory, the infrared divergence has no classical counterpart, and anticipated that only the probability for the simultaneous emission of infinitely many quanta can be finite and that the probability for emission of any finite number of them must vanish. To cure this “infrared catastrophe” phenomenon, a semiclassical description was proposed. They noticed that for emitted photons of frequency larger than a certain ω_0 the probability of emitting each additional photon is proportional to $\frac{e^2}{\hbar c} \log E/\hbar\omega_0$, which becomes large as $\omega_0 \rightarrow 0$. Thus, the actual expansion is not $\frac{e^2}{\hbar c}$, which would be small, but a larger number, driven by the logarithm. This led them to analyze the scattering process in terms of what came to be called Bloch–Nordsieck states, namely states with one electron plus the electromagnetic field, and to substitute the expansion in $\frac{e^2}{\hbar c}$ with a more adequate one. The important result they obtained, in a non covariant formalism, was that, albeit the pro-

bability of emission of any finite number of quanta is zero, when summing on all possible numbers of emitted quanta, the total transition probability was finite. This was so because, by summing on all possible frequencies and numbers of photons, one obtained the result which one would have obtained by neglecting entirely the interaction with the electromagnetic field. Since they could show that the probability for emission of any finite number of quanta was zero, whereas the total transition probability was finite and the total radiated energy was finite, then they anticipated that the mean total number of quanta had to be infinite. Thus the idea that any scattering process is always accompanied by an infinite number of soft photons was introduced and proved to be true in a non-covariant formalism.

In the BN paper we see the emergence of the concept of finite total energy, with exponentiation of the single photon spectrum which is logarithmically divergent. They obtain that the probability per unit time for a transition in which $n_{s\lambda}$ light quanta are emitted always includes a factor proportional to

$$\exp \left\{ -\alpha \lim_{\omega_0 \rightarrow 0} \int_{\omega_0}^{\omega_1} \frac{d\omega}{\omega} \int d\Omega_k \times \left[\left(\frac{\mu}{1 - \mu_s} - \frac{\nu}{1 - \nu_s} \right)^2 + \left(\frac{\mu_s}{1 - \mu_s} - \frac{\nu_s}{1 - \nu_s} \right)^2 \right] \right\} \quad (18.1)$$

where μ/ν and μ_s/ν_s are respectively momentum and energy of the incoming/outgoing electron. Because of the exponentiation of a divergent term, the transition probability for a finite number of emitted photons is always zero. On the other hand, when summation is done over all possible photon numbers and configurations, the result is finite. Clearly there was still something missing because the fact that you must emit an infinite number of photons is obtained by exponentiating an infinite divergent term, and there is no hint of how to really cure the infrared divergence. In addition the language used is still non-covariant.

Before going to the covariant formulation, we notice that the crucial argument relies on the transition probability being proportional to

$$\prod_{s\lambda} e^{-\bar{n}_{s\lambda}} \frac{\bar{n}_{s\lambda}^{n_{s\lambda}}}{n_{s\lambda}!} \quad (18.2)$$

namely to a product of Poisson distributions, each of them describing the independent emission of $n_{s\lambda}$ soft photons.

18.3 The Bloch–Nordsieck covariant formalism by Touschek and Thirring

In 1948 Bruno Touschek was in Glasgow and became interested in the infrared catastrophe phenomenon together with Walter Thirring, a young post-doc like Touschek.

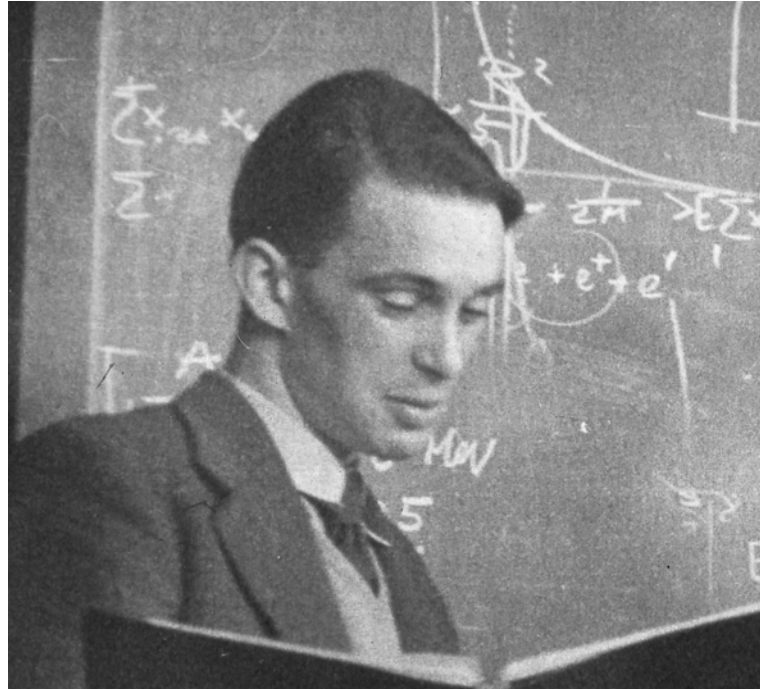


Figura 18.3: Bruno Touschek a Glasgow negli anni '40 (Cortesia famiglia Touschek).

The problem was well known from early days of quantum theory of radiation, namely the fact that in any process in which charged particles scatter or are created or destroyed, the probability of emission of light quanta diverges as the photon frequency goes to zero. As mentioned before, the problem had been pointed out by Bloch and Nordsieck in a paper in 1937. Their formulation and the subsequently proposed solution was framed in a non covariant language. Instead, when Touschek and Thirring met in Glasgow, after the war and in the full immersion of second quantization and

relativistic quantum field theory, the problem was formulated in a more modern way.

Touschek and Thirring (TT) reformulated the problem and showed in a covariant formalism that the probability of emission of any finite number of quanta was zero [12]. This came from obtaining that the $|\chi_0^\dagger \chi'_0|^2$ probability for a transition from a state with no photons to a state with an average number \bar{n} of photons was given by $e^{-\bar{n}}$, which goes to zero as \bar{n} goes to infinity.

Let us try to follow TT rederivation. In the introduction they point out that, although the results they obtain are not new and have been discussed by several authors, the importance of the Bloch–Nordsieck problem as the only one which admits an accurate solution may justify a general reformulation of the problem. As already noted by BN, the simplification which enables one to find an accurate solution rests on the neglect of the recoil of the source particles.

TT set out to determine the probability for the production of a certain number n of quanta in a 4-momentum interval Δ . They obtain that the probability amplitude for the creation of n particles in a state r is given by

$$(F_n^r \chi_0) = \frac{1}{(2\pi)^{3n}} \times \frac{1}{\sqrt{n!}} \int_{\Delta} dk_1 \dots \int_{\Delta} dk_n \Pi_i \delta(k_i^2 - \mu^2) \\ \times u_n^{r*}(k_1 \dots k_n) (\chi_0'(\phi(k_1) + \delta\phi(k_1)) \dots (\phi(k_n) + \delta\phi(k_n)) \chi_0)$$

where use has been made of a complete set of orthogonal functions u_n^r which satisfy the completeness relation. χ_0 is the eigenvector describing an incoming state with no quanta at all in the interval Δ , while χ_0' is the corresponding one for the final state. For the probability to have n photons in the final state they obtain

$$\sum_r |F_n^r \chi_0|^2 = \frac{1}{n!} \bar{n}^n |\chi_0' \chi_0|^2 \quad (18.3)$$

with

$$\bar{n} = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{\Delta} dk \delta(k^2 - \mu^2) |\delta\phi(k)|^2 \quad (18.4)$$

and, by asking that the total probability be 1, they obtain the Bloch and Nordsieck result

$$|\chi_0' \chi_0|^2 = e^{-\bar{n}} \quad (18.5)$$

For the derivation, it is necessary that the motion of the source particles is not affected by emission of quanta, namely that the wave operator describing the source field is a c -number. Then ϕ^{out} differs by ϕ^{in} only by a multiple of the unit matrix and, transforming to k -space, it is written as

$$\phi^{out}(x) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int dk \delta(k^2 - \mu^2) [\phi^{in}(k) + \delta\phi(k)] e^{ikx} \quad (18.6)$$

where $\delta\phi(k) = -\rho(k)\epsilon(k)$, with $\rho(k)$ the Fourier-transform of the source density describing the source particles and $\epsilon(k) = \pm 1$ according as to whether k is less or greater than 0. In their paper TT first derive their results for a source scalar field, then they generalize it to a vector source function $j_\mu(x)$ of a point-like electron, i.e.

$$j_\mu(x) = e \int p_\mu(\tau) \delta(x - \tau p(\tau)) d\tau \quad (18.7)$$

where $p_\mu(\tau) = p_\mu$ for τ less than 0 and $p_\mu(\tau) = p'_\mu$ for τ larger than 0. Notice that the sudden change in momentum imposes the restriction that in order to apply the results to a real scattering process, the photon frequencies should always be much smaller than $1/\tau$, where τ is the effective time of collision. Otherwise the approximation (of a sudden change in momentum) will break down. One then obtains

$$j_\mu(k) = e \left(\frac{p_\mu}{(pk)} - \frac{p'_\mu}{(p'k)} \right) \quad (18.8)$$

and the average number of quanta \bar{n} now becomes

$$\bar{n} = \frac{e^2}{(2\pi)^3} \int_{\Delta} dk \delta(k^2 - \mu^2) \left[\frac{(p\epsilon)}{(pk)} - \frac{(p'\epsilon)}{(p'k)} \right]^2 \quad (18.9)$$

where ϵ is a polarization vector.

The difference between TT and BN formulation is of course in the covariant formalism, but also in a different emphasis. BN obtain an expression for a finite number of photons which is proportional to $e^{-\bar{n}}$ and they show that is zero. When they sum over all numbers the result is finite. TT obtain an expression for $|\chi'_0 \chi_0|^2$ which, because of unitarity, must be $e^{-\bar{n}}$ and then they can calculate \bar{n} with the now well known covariant expression. Notice that the photon mass μ remains different from zero, so as to ensure convergence of all the integrals.

18.4 Schwinger's Ansatz on the exponentiation of the infrared factor

The solution found by BN and later brought into covariant form by TT did not really solve the problem of electron scattering in an external field and of how to deal with finite energy losses. This problem was discussed and solved in the context of Quantum Electrodynamics, where the logarithmic divergence attributable to the infrared-catastrophe from emission of real light quanta of zero energy was compensated through the emission and absorption of virtual quanta. This cancellation was taking place in the cross-section, and not between amplitudes. In a short paper in 1949 and, shortly after, in the third of his classic QED papers, Julian Schwinger [13] examined the radiative corrections to (essentially elastic) scattering of an electron by a Coulomb field, computing second order corrections to the first order amplitude and then cancelling the divergence in the cross-section between these terms and the cross-section for real photon emission. The result, expressed as a fractional decrease δ in the differential cross-section for scattering through an angle θ in presence of an energy resolution ΔE of the scattered electron, is of order α and given by

$$\frac{2\alpha}{\pi} \log\left(\frac{E}{\Delta E}\right) \times F(E, m, \theta) \quad (18.10)$$

where $F(E, m, \theta)$ in the extreme relativistic limit is just $\log(2E/m)$. Schwinger notices that δ diverges logarithmically in the limit $\Delta E \rightarrow 0$ and points out that this difficulty stems from the neglect of processes with more than one low frequency quantum. Well aware of the Bloch and Nordsieck result, he notices that it never happens that a scattering event is unaccompanied by the emission of quanta and proposes to replace the radiative correction factor $1 - \delta$ with $e^{-\delta}$, with further terms in the series expansion of $e^{-\delta}$ expressing the effects of higher order processes involving multiple emission of soft photons.

In 1949 however, such refinements, namely the exponentiation of the radiative correction factor, were still far from being needed, given the available energies for scattering processes as Schwinger points out, estimating the actual correction to then available experiments, to be about 10%. Almost twenty years had to pass before the exponentiation became an urgent matter, when Touschek's *Bond factor* proportional to $\alpha \log(E/m)$ star-

ted becoming larger and the first order correction, the double logarithm $\alpha \log(E/\Delta E) \log(2E/m)$ would climb to $20 \div 30\%$ and beyond.

It is not known to this writer whether Touschek and Thirring were aware of the Schwinger results when they formulated the covariant version of the Bloch–Nordsieck method. They do not cite these results, and their interest is primarily on obtaining a covariant formulation of the BN method. Quite possibly, at the time they were not interested in the practical applications of the problem, which is instead the focus of Schwinger’s calculation.



Figura 18.4: Giulia Pancheri a Boston, nel 1979, mentre fa lezione alla Northeastern University.

18.5 Status of the field in the early sixties

In the 1950's, with Feynman diagrams technique available to the theoretical physics community, many higher order QED calculations came to be part of standard theoretical physics handbooks. Some of these calculations did not seem to have anything to do with experiments which could realistically be performed in the near future, like for instance the box diagram calculation, namely $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ with γ a real or a virtual photon. I should notice here that the basic paper on this proces was published in 1950 [14] and that, in Rome, Benedetto De Tollis made use of this theoretical analysis to calculate the cross-section for these processes, using dispersion relation techniques [15]. It was the thesis work I did with De Tollis on one of these processes which allowed me to enter in Touschek's group.

Many important contributions to the radiative correction problem appeared in the '50s and early '60s [16, 17, 18], with a major step in the calculation of infrared radiative corrections done in 1961 by Yennie, Frautschi and Suura (YFS) [19]. In their classic paper, they went though the cancellation of the infrared divergence at each order in perturbation theory in the cross-section and obtained the final compact expression for the probability of energy loss. Their result is apparetly disconnected from the Bloch-Nordsieck result. In their paper they compute higher and higher order photon emission in leading order in the light photon momentum, showing that the leading terms always come from emission from external legs in a scattering diagram. In parallel, order by order, they extract the infrared divergent term from the virtual diagrams, making the terms finite through the use of a minimum photon energy. They show that the result is just as valid using a minimum photon mass, and finally get rid of the minimum energy, thus showing the result to be finite.

18.6 The Bond factor: the Adone project and the radiative correction work

After the success of AdA, the first e^+e^- colliding machine, built in Frascati by Bruno Touschek, Carlo Bernardini, Gianfranco Corazza and Giorgio Ghigo [3], in 1961 Bruno Touschek proposed to build a more powerful electron-positron machine, to be named Adone. The first such proposal appears in an internal Frascati note [2].



Figura 18.5: Etim Etim con Elspeth e Francis Touschek a Frascati nel 1987.

As Ugo Amaldi remembers [4], Bruno at that time had become seriously concerned with the success of Adone experiments. And with this came the concern with doing radiative corrections. This was at the time an ongoing preoccupation. In the United States, Tsai [20] had been performing realistic radiative correction calculations to colliding beam experiments, which however were restricted to first order in α . Touschek realized that, at a machine like Adone, the radiation factor, which he christened the *Bond factor*, would not be small and that it would be necessary to use the exponentiation advantage in a form like YFS, while also doing a calculation for a realistic apparatus. And this led us to write the radiative correction paper, which aimed at combining the realistic approach by Tsai and the theoretical formulation of the exponentiated infrared factors of YFS.

18.7 Radiative corrections for e^+e^- colliding beam experiments

In the Spring of 1966 I joined the Frascati theory group. The group included Paolo Di Vecchia, Etim Etim, Giancarlo Rossi, Francesco Drago, Mario Greco and Giovanni De Franceschi. At first, I was interested in what was

then very fashionable, strong interaction physics, with Finite Energy Sum Rules and current algebra results. But soon Touschek started bringing me down to reality and I remember him telling me, very directly, one day : “We must do the administration of the radiative corrections to electron positron experiments”, in his words “we must earn our bread and butter”. He already had part of the paper in his mind. The paper starts with some fundamental considerations, which reflect the Bloch and Nordsieck approach to the problem, namely that the picture of an experimentalists as counting single photons as they emerge from a high energy scattering among charged particles is unrealistic. Then Touschek (because he really is the one who wrote most of the paper) charges perturbation theory with being unable to deal with the flood of soft photons which accompany any such reactions. Originally BN had shown that, by neglecting the recoil of the emitting electron, the distribution of any finite number of quanta would follow a Poisson type distribution, namely

$$P(\{n, \bar{n}\}) = \frac{1}{n!} \bar{n}^n e^{-\bar{n}} \quad (18.11)$$

and TT had recast \bar{n} in the covariant form. In our paper, Touschek uses this distribution and adds to it the constraint of energy momentum conservation. This is the major improvement, which has sometimes been neglected in subsequent applications of the method to strong interaction processes. I shall now repeat the argument through which Touschek obtained the final 4-momentum probability distribution to have an energy momentum loss K_μ . The final expression is the same as the one proposed earlier by Yennie, Frautschi and Suura, but the derivation is very different and its physical content more transparent. The paper also has a discussion on the energy scales which will become very important later, when dealing with resonant states, and in particular with J/Ψ production. The derivation is semi-classical and at the end it will be clear that the quanta considered are both real and virtual photons. The reason for this can be understood from a consideration by Brown and Feynman [16] in their computation of radiative corrections to Compton scattering. In this paper, they note that it is difficult to distinguish between real and virtual quanta of extremely low energy since, by the uncertainty principle, a measurement made during a finite time interval will introduce an uncertainty in the energy of the quantum which may enable a virtual quantum to be detected as a real one. In our paper the probability of having a total energy-momentum loss K_μ

in a charged particle scattering process, is obtained by considering all the possible ways in which n_k photons of momentum k_μ can give rise to a given total energy loss K_μ and then summing on all the values of k_μ . We have that we can get a total final 4-momentum K_μ pertaining to the total loss, through emission of n_{k_1} photons of momentum k_1 , n_{k_2} photons of momentum k_2 and so on. Since the photons are all emitted independently (the effect of their emission on the source particle is neglected), each one of these distributions is a Poisson distribution, and the probability of a 4-momentum loss in the interval d^4K is written as

$$d^4P(K) = \sum_{n_k} \prod_k P(\{n_k, \bar{n}_k\}) \delta^4(K - \sum_k k n_k) d^4K \quad (18.12)$$

where the BN result of independent emission is introduced through the Poisson distribution and four momentum conservation is ensured through the 4-dimensional δ function, which selects the distributions $\{n_k, \bar{n}_k\}$ with the right energy momentum loss K_μ . The final expression, obtained with methods of statistical mechanics was

$$d^4P(K) = \frac{d^4K}{(2\pi)^4} \int d^4x \exp[-h(x) + iK \cdot x] \quad (18.13)$$

with

$$h(x) = \int d^3\bar{n}_k (1 - \exp[-ik \cdot x]) \quad (18.14)$$

which is the same as the expression obtained by YFS through order by order cancellation of the infrared divergence in the cross-section. In this derivation, which is semiclassical, no mention or no distinction is done between virtual and real photons, but it is clear that the contribution of real photons is from the term which is multiplied by the exponential $e^{-ik \cdot x}$, since this is the one which remembers that the total energy-momentum emission is constrained. Thus the single real photons of momentum k are correlated through the Fourier transform variable x . This result is obtained in an extraordinarily easy manner, and extraordinary it appeared to our experimentalist friends, who were waiting for a precise calculation. The next step was to make realistic calculations of the radiative correction factors, using an apparently difficult expression. The first thing was then to obtain the correction factor for the energy, by integrating Eq. (18.13) over the 3-momentum variable. The expression that Touschek presented through a

very elegant argument, for a total energy loss ω was

$$dP(\omega) = N\beta \frac{d\omega}{\omega} \left(\frac{\omega}{E}\right)^\beta \quad (18.15)$$

where N is a normalization factor [17, 18], and, in the high energy limit,

$$\beta = \frac{4\alpha}{\pi} \left(\log \frac{2E}{m_e} - \frac{1}{2} \right) \quad (18.16)$$

This factor was what Touschek named the *Bond factor*, because its numerical value in the range of Adone energies was around 0.07. These were the sixties, James Bond movies were all the rage and Touschek in his typical humorous and sarcastic way borrowed a name from the popular culture to use it in the scientific literature.



Figura 18.6: Bruno Touschek con Paul Dirac. A destra, Marcello Conversi (cortesia famiglia Touschek).

Although the radiative correction paper of 1967 was the last that Touschek wrote on this subject, his influence in this field continued in many ways and

for longer than he himself may have imagined and came to know. While we were working on the above paper, he had suggested to us, young collaborators, two more relevant papers, one on the coherent state method [5], which indicates how to deal with soft photon emission in the amplitude rather than the cross-section, and one on infrared correction to resonant process [6]. He did not sign these papers, but he had the original idea, brought us to work on them, gave us suggestions and commented on the final versions. Both papers became very relevant in the years to follow. When the J/Ψ was discovered in 1974, the puzzle of its spectrum led Touschek to say that radiative corrections must not have been applied right and suggested that we revisit the problem. Indeed the corrections were to be applied using the width of the resonance to sum the soft photons, a much more precise way than what was immediately done at the time by our American colleagues [21]. They had chosen the energy scale given by the energy resolution, but this choice was not correct for a narrow resonance like the J/Ψ . And of course, he was right: we used the methods he had taught us to develop and the shape of the narrow resonance was perfectly fitted and the relevant parameters extracted [7].

18.8 The afterlife of the Bond factor: from radiator to Regge trajectory

In the radiative correction paper with Etim and Touschek, there is one part in the Appendix where I was able to demonstrate that the *Bond factor* is a relativistic invariant quantity, something which nobody had noticed yet. Following this idea, a few years later, I studied the *Bond factor* as a function of the Mandelstam invariants s , t and u and casted it into a very symmetric expression, such that one could be led to identify it as photon trajectory [22]. The argument is based on then fashionable di-triple Regge limit of inclusive processes. The basic idea was always the same, old, BN idea : in any scattering process between charged particles, there is emission of soft radiation in a factorized exponentiated form. Equating the exponentiated *Bond factor* with a Regge trajectory, one could identify the photon trajectory $\alpha_\gamma(t)$ as

$$\alpha_\gamma(t) = 1 - \frac{\beta(t)}{4} \tag{18.17}$$

with $\beta(t)$ being the recasted *Bond factor*.

I will not go into the details of this paper, to which I worked together with my husband Yogendra Srivastava, but I reproduce here a poem which I wrote in 1971 and which both Bruno Touschek and Giorgio Salvini used to like very much, about a Regge pole.

I live in the complex J-plane.
 Again and again,
 I feel that my role,
 of being a pole,
 is rather a strain.
 I'd like to be exotic
 and slightly neurotic
 and may be pathetic
 but hidden
 forbidden
 and mostly, if I may,
 to be off the way
 and never to meet
 the physical sheet.

18.9 The Bloch–Nordsieck states in momentum variable

An often neglected contribution by Bruno Touschek is his work on the spatial distribution of soft photon emission. This is a truly original contribution which became important much later, after the discovery of Quantum ChromoDynamics (QCD).

In the 1967 paper, we spent many months in trying to obtain a closed form for the entire 4-dimensional BN distribution, or, short of this, for the spatial momentum distribution, obtainable from Eq. (18.13) by integration of the energy variable. The task proved impossible. We could only extract the average value of the three-momentum carried by the emitted radiation, which we casted in the form

$$\langle \mathbf{K}^2 \rangle = \frac{\omega^2}{1 + \beta} \quad (18.18)$$



Figura 18.7: Lia Pancheri con Yogi Srivastava e Bruno Zumino (a destra), nel 1975 a Boston.

where ω is the energy carried by the soft emission and β is the usual Bond factor.

At the end we decided that these efforts were not worth pursuing because, unlike the energy case, in QED the effect of summing many soft photons in momentum space differs from the angular distribution of the classical radiation by terms of order β , and this implies that, as long as β is small, the bulk of the momentum loss is always due to a single photon.

This problem however remained in my mind and I went back to it for a number of years, until, in 1976 [23] we understood that the interesting distribution was not the one in three-momentum but in transverse momentum, namely

$$\frac{d^2 P(\vec{K}_\perp)}{d^2 \vec{K}_\perp} = \int d\omega dK_z \frac{d^4 P(K)}{d^4 K} = \frac{1}{(2\pi)^2} \int d^2 \vec{b} e^{i\vec{b} \cdot \vec{K}_\perp} \int d^3 \vec{n}(k) [1 - e^{-i\vec{b} \cdot \vec{k}_\perp}] \quad (18.19)$$

We worked in an Abelian gauge theory with an energy independent (as in

QED) but not small coupling constant, thus allowing the corresponding β factor to become large. We then obtained some useful approximations for the function $d^2P(\vec{K}_\perp)$ which indicated that single particle transverse momentum in strong interactions could be described by a Bloch-Nordsieck type distribution.

We missed the fact that in QCD, the then newly born theory of strong interactions, the coupling constant is momentum dependent. When taking this into account, the transverse momentum distribution due to soft gluon emission became extremely interesting. The application of resummation techniques to the K_\perp -distribution of μ pairs of mass Q produced in hadron-hadron collisions was studied by two of our Rome and Frascati colleagues [24], Giorgio Parisi and Roberto Petronzio, in a well known paper [24]. In this paper, they argued that the “soft limit of QCD could be treated in full analogy with that of QED with the minor [Author’s note : not so minor!] technical change of α into $\alpha(k_\perp)$ ”. Further work was performed then by others, in particular by members of Touschek’s group, like Mario Greco. In more recent times, we have applied resummation techniques in transverse momentum space to study the impact parameter distribution of partons in a hadron [25] and then used it within the eikonal representation to predict the value of the total proton-proton cross-section at LHC [26].

Today the problem of transverse momentum distributions in QCD is, in my opinion, not completely solved. The reason lies in the momentum dependence of the strong coupling constant $\alpha_s(k_\perp)$ when the gluon momentum goes to zero, as it is the case for the soft gluons in the BN resummation. In particular, what one needs to know is the *integral* over the infrared region. This is due to the fact that the infrared limit of α_s enters only when the gluon momenta is close to zero, i.e. only in the resummation process, which implies exponentiation of an integral over gluon’s momenta and α_s . Because the coupling constant, and hence the analogue of the *Bond factor* in QCD, grows as the momentum becomes smaller, the need for Bloch–Nordsieck type resummation of the zero momentum modes of the soft quanta emitted by coloured quarks, becomes mandatory. In this case, the applicability of the above methods requires the knowledge of the strong coupling constant in the infrared region, something which is still one of the barriers facing our knowledge of strong interactions.

Conclusions

In this brief note, I have tried to recall how Touschek was instrumental in developing the theoretical background for administering high precision radiative corrections to electron-positron experiments. He called everybody's attention to this task by devising a funny nickname for what we had to calculate, and this is how the *Bond factor* became part of the Frascati lore.

Aknowledgments

The author is grateful for the hospitality offered by the Theory group of the Boston University Physics Department during the preparation of this article. This work was supported in part by EU contract HPRN-CT2002-00311. Thanks are due to C. Federici, INFN Frascati National Laboratories, for his photographic and digital work.



Figura 18.8: Giulia Pancheri durante le Touschek Memorial Lectures del 1988. Sulla parete, una foto di AdA.

Bibliografia

1. E. G. Etim, G. Pancheri and B. Touschek, *The Infra-red Radiative Corrections for Colliding Beam (Electrons and Positrons) Experiments*, Nuovo Cimento 51B (1968) 362.
2. F. Amman, C. Bernardini, R. Gatto G. Ghigo and B. Touschek, *Anello di Accumulazione per elettroni e positroni (Adone)*, Frascati, Nota Interna n. 68, 27 gennaio 1961.
3. C. Bernardini, G. F. Corazza, G. Ghigo and B. Touschek, *The Frascati Storage Ring*, Nuovo Cimento 18 (1960) 1293.
4. *Bruno Touschek Memorial Lectures*, Eds. M. Greco and G. Pancheri, Frascati Physics Series, Vol. XXXIII, Frascati 2005.
5. M. Greco and G. Rossi, *A Note on the Infra-red Divergence*, Il Nuovo Cimento 50A (1967) 168.
6. G. Pancheri, *Infra-Red Radiative Corrections for Resonant Processes*, Il Nuovo Cimento 60A (1969) 321.
7. M. Greco, G. Pancheri and Y. N. Srivastava, *Radiative Corrections For Colliding Beam Resonances*, Nuclear Physics B101 (1975) 234.
8. M. Greco, G. Pancheri and Y.N. Srivastava, *Radiative Corrections to $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ around the Z_0* , Nuclear Physics B171 (1980) 118, Erratum-ibid. B197 (1982) 543.
9. F. Bloch and A. Nordsieck, *Note on the Radiation Field of the Electron*, Physical Review 52 (1937) 54.
10. N. M. Mott., Proc. Camb. Phil. Soc. 27 (1931) 255; A. Sommerfeld, Ann. d. Physik 11(1931) 257.
11. H. Bethe and W. Heitler, *On the Stopping of Fast Particles and on the Creation of Positive Electrons*, Proc. Roy. Soc. A146 (1934) 83.
12. W. E. Thirring and B. Touschek, *On the Covariant Formulation of the Bloch-Nordsieck Method*, Phil. Mag. 42 (1951) 244.
13. J. Schwinger, *On Radiative Corrections to Electron Scattering*, The Physical Review 75 (1949) 898; ibidem 76 (1949) 790.
14. R. Karplus and N. M. Kroll, Physical Review 77 (1950) 536.
15. B. De Tollis, Il Nuovo Cimento 32 (1964) 757; ib. 35 (1965) 11892.
16. L. M. Brown and R. P. Feynman, *Radiative Corrections to Compton Scattering*, The Physical Review 85 (1952) 231.

17. K. E. Erikson, *Il Nuovo Cimento* 19 (1961) 1010.
18. E. L. Lomon, *Radiative Corrections for Nearly Elastic Scattering*, *The Physical Review* 113 (1959) 726.
19. D. R. Yennie, S. C. Frautschi and H. Suura, *The Infrared Divergence Phenomena and High Energy Processes*, *Annals of Physics* 13 (1961) 379.
20. Y.-S. Tsai, *Radiative Corrections To Colliding Beam Experiments*, Proc. of the Int. Symp. on Electron and Photon Interactions at High Energies, DESY, 1965. Hamburg, Deutsche Physikalische Gesellschaft, 1965. vol. 2, p. 387–92, and references therein.
21. D. R. Yennie, *Comment on Radiative Corrections to $e^+e^- \rightarrow \Psi(3105)$* , *Physical Review Letters* 34 (1975) 239.
22. G. Pancheri–Srivastava, *Reggeization of the Photon in Quantum Electrodynamics*, *Physics Letters* B44 (1973) 109.
23. G. Pancheri–Srivastava and Y. N. Srivastava, *Transverse momentum distribution from the Bloch–Nordsieck method*, *The Physical Review* D15 (1977) 2915.
24. G. Parisi and R. Petronzio, *Small transverse momentum distribution in hard processes*, *Nuclear Physics* B154 (1979) 427.
25. A. Corsetti, A. Grau, G. Pancheri, Y.N. Srivastava, *Bloch–Nordsieck summation and partonic distributions in impact parameter space*, *Physics Letters* B382 (1996) 282.
26. R. M. Godbole, A. Grau, G. Pancheri, Y. N. Srivastava, *Soft gluon radiation and energy dependence of total hadronic cross-sections*, *The Physical Review* D72 (2005) 076001.

Capitolo 19

Sergio Di Liberto

Sergio Di Liberto è nato a Roma il 15 febbraio 1947 e si è laureato in fisica nel 1970 all'Università di Roma 'La Sapienza', dove ha iniziato l'attività di ricerca in fisica nucleare e subnucleare presso il Gruppo di emulsioni nucleari diretto da Giustina Baroni. Di questo gruppo è stato responsabile dal 1988 al 2001. Ha partecipato a numerosi esperimenti per lo studio delle proprietà di particelle costituite da "quark pesanti". Ha svolto anche attività sperimentale per lo studio delle proprietà dei neutrini. Dal 1986 partecipa ad esperimenti per individuare possibili transizioni di fase dalla ordinaria materia adronica a stati di Plasma di quark e gluoni, tramite collisioni di nuclei pesanti ultrarelativistici. In questo ambito partecipa attualmente alla realizzazione dell'esperimento ALICE al Large Hadron Collider del CERN.

Ha svolto attività didattica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza" come professore a contratto, dal 1988 al 1992. È dirigente di ricerca dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Roma. È autore di 95 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali.

19.1 La lunga vita delle emulsioni nucleari

Quando accade che si parli della tecnica delle emulsioni nucleari nelle conversazioni fra fisici, non più giovani, o in conferenze a carattere storico-scientifico, si è soliti fare riferimento agli anni Cinquanta e alla frenetica attività di studio, tramite i Raggi cosmici, delle caratteristiche delle particelle che la Fisica teorica degli anni precedenti aveva iniziato a ipotizzare e

che aveva già avuto clamorose verifiche sperimentali come l'identificazione del positrone.



Figura 19.1: Lancio di palloni atmosferici dalla Sardegna per lo studio della produzione di particelle strane (Aeroporto di Cagliari-Elmas, 1953). Gli stack di emulsioni nucleari viaggiavano agganciati ai palloni fino ad alta quota e venivano recuperati immediatamente dopo l'ammarraggio (Archivio Dipartimento di Fisica Università La Sapienza, Roma).

Questa collocazione temporale della tecnica delle emulsioni nucleari è certamente vera ma non esauriente. Come evidenzierò più avanti, nonostante temporanei periodi di minore celebrità, la tecnica delle emulsioni nucleari ha vissuto successivamente almeno altre due fasi degne di essere ricordate e analizzate per la loro validità scientifica.

Non mi soffermo qui sulle singole scoperte di quegli anni gloriosi e sul contributo scientifico dato dagli emulsionisti italiani e in particolare dalla scuola di Roma nata sotto la guida di Edoardo Amaldi e proseguita negli anni successivi con il sostanzioso contributo di Carlo Castagnoli, Carlo Franzinetti, Giulio Cortini, Augusta Manfredini e Giustina Baroni. Vorrei

soltanto menzionare qui alcuni risultati notevoli di quel momento di massima popolarità per la tecnica delle emulsioni nucleari e che sono collegabili con le attività successive:

1) La risoluzione del cosiddetto “ ϑ / τ puzzle” cioè l’osservazione certa del decadimento del cosiddetto mesone τ (oggi noto come Kaone) in tre pioni. 2) L’osservazione e la misura della vita media di molti elementi della famiglia degli iperoni. 3) L’osservazione del cosiddetto “Unusual event produced by cosmic rays” che fu correttamente interpretato come la produzione di un antiprotone (e che portò successivamente a una sperimentazione comune al Bevatrone con il gruppo di Berkeley diretto da Emilio Segrè e Owen Chamberlain). 4) Lo studio di produzione multipla di particelle prodotte da primari di altissima energia e la presentazione di una formula empirica per la determinazione dell’energia dei primari a partire dalla distribuzione angolare dei secondari (formula di Castagnoli o della pseudorapidità).

Per una completa rassegna delle attività sperimentali del gruppo di Roma in quell’epoca, rimando alla corposa bibliografia al riguardo¹.

La caratteristica principale delle emulsioni nucleari è quella di “memorizzare permanentemente” il passaggio di una determinata particella carica, di identificare con grande risoluzione spaziale l’eventuale “punto di nascita e quello di morte”, cioè misurarne la vita media, potendo determinare, in base all’energia residua e alla perdita di energia lungo il percorso, le sue caratteristiche identificative e quindi permettendo di contare la popolazione relativa di ciascuna particella prodotta.² La possibilità di inserire questi stack di emulsioni nucleari (pacchetti di lastre sovrapposte, successivamente sviluppabili con tecniche di tipo fotografico) in un campo magnetico di intensità nota, permette anche di determinare in modo univoco la carica elettrica della particella passante.

Gli anni Sessanta videro la realizzazione dei primi grandi acceleratori di particelle e per i gruppi emulsionisti europei si presentò la preziosa opportunità di avere a disposizione una propria macchina: il Protosincrotrone da 28 GeV al CERN. Si rinunciò a lanciare piccoli esperimenti individuali e si crearono grandi collaborazioni internazionali la cui leadership rimase nelle mani dei gruppi di più solida tradizione: inglesi, scandinavi, belgi e italiani.

¹Si veda ad esempio la ricostruzione storica di M. Grilli e F. Sebastiani [1].

²Per una trattazione completa delle proprietà delle emulsioni nucleari rimando a W. H. Barkas [2].

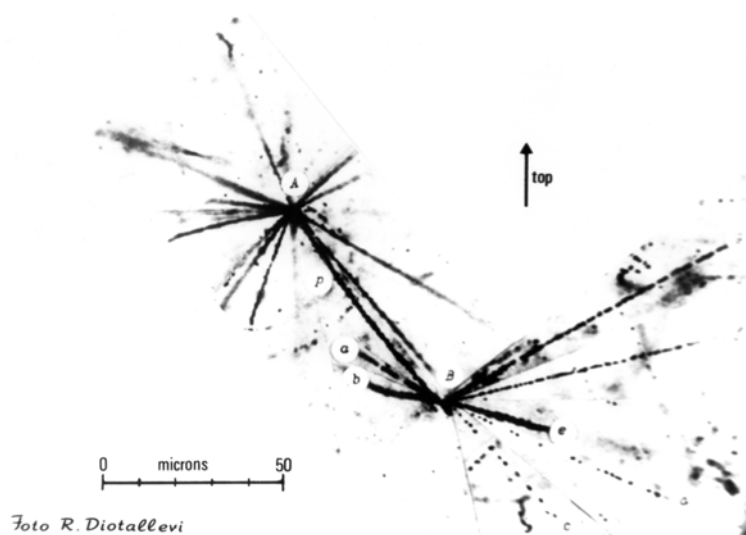


Figura 19.2: L'evento osservato in emulsioni nucleari a Roma, prodotto in quota da raggi cosmici e interpretato come possibile produzione e annichilazione di un antiprotone nel 1955.

In quell'epoca fu realizzato al CERN un laboratorio per il trattamento delle emulsioni nucleari. Era sicuramente all'avanguardia e paragonabile a quello delle industrie che all'epoca producevano materiale fotografico. Consisteva in una serie di camere oscure contigue utilizzate per la marcatura delle lastre con griglie fotografiche di riferimento e per l'esecuzione delle operazioni di sviluppo, fissaggio, lavaggio, asciugamento e incollaggio su supporto vetroso. Il gruppo di Roma nell'occasione diede un grande contributo perché oltre a trasferire le proprie competenze nel campo (all'Istituto di Fisica dell'attuale Università La Sapienza era già stato allestito un efficiente laboratorio per gli sviluppi) convinse un proprio valido tecnico laureato in Chimica, Onofrio Mendola, a trasferirsi al CERN come responsabile tecnico del Laboratorio. Dante, come era universalmente chiamato dagli amici e colleghi, dirigerà il laboratorio per quasi trent'anni costituendo per tutti gli emulsionisti europei e non, un indispensabile punto di riferimento.

L'acquisto della materia prima, cioè l'emulsione nucleare opportunamente trattata e resa sensibile al passaggio di particelle cariche al minimo di ionizzazione, anche in grosse quantità non costituiva allora un problema in quan-

to le grandi industrie commerciali che producevano materiale fotografico, come ad esempio la Ilford, erano ben liete di collaborare al miglioramento della tecnologia e di pubblicizzare la loro presenza nel mondo della ricerca di base; questa collaborazione diventerà più difficile nei decenni successivi tanto da costituire un serio problema.

L'attività scientifica con le emulsioni al PS del CERN fu focalizzata su due differenti argomenti. Il primo riguardava lo studio sistematico delle proprietà delle particelle che erano state identificate negli anni precedenti. La misura della vita media, delle topologie di decadimento e dei momenti magnetici degli iperoni Λ e Σ furono il brillante risultato di una serie di esperimenti succedutisi fra il 1962 e il 1966.

In particolare la misura del momento magnetico anomalo del Λ [3] costituì un grande successo sia perché fu in assoluto la più accurata al riguardo sia perché favorì molto i teorici che in quell'epoca erano fortemente interessati ad avere verifiche sperimentali al nascente Modello a quark. Anche da un punto di vista sperimentale questi esperimenti furono impegnativi perché gli stack di emulsioni nucleari erano per la prima volta usati non come bersaglio attivo al fascio di particelle incidenti ma come rivelatori disposti opportunamente a garantire la dovuta copertura angolare per i secondari prodotti. Ciò rendeva più difficoltoso il ritrovamento delle particelle provenienti dai decadimenti, ad esempio del Λ e del K neutri prodotti nel bersaglio.

Il secondo argomento di interesse per gli emulsionisti era invece decisamente d'avanguardia ma ebbe risultati negativi: la ricerca del monopolio magnetico. Come è noto P. A. M. Dirac nel 1931 aveva enunciato la possibilità di simmetrizzare le equazioni di Maxwell introducendo, in analogia all'elettromagnetismo, un monopolio di carica magnetica il cui unico vincolo quantistico era di essere un opportuno multiplo della carica elettrica fondamentale. La teoria di Dirac [4] non formulava alcuna ipotesi riguardo alla massa dei monopoli e al loro modo di interagire con la materia. Gli emulsionisti avevano già provato negli anni precedenti a rivelare monopoli in produzione dai raggi cosmici. Anche all'acceleratore di Berkeley era stata tentata la ricerca con esito negativo.

Il PS del CERN produceva protoni della massima energia allora disponibile per cui nel 1962 E. Amaldi con il gruppo emulsioni di Roma provò con tre differenti metodi di esposizione a rivelare i monopoli, costruendo anche un magnete ad hoc in cui esporre le emulsioni [5]. Il risultato fu sempre

negativo e imputato al fatto che la massa del monopolio era probabilmente troppo alta per permetterne la rivelazione in quelle condizioni sperimentali. Questo del monopolio magnetico rimase un po' un "chiodo fisso" per il gruppo emulsioni di Roma anche negli anni successivi: infatti nel 1975 e nel 1978 il gruppo guidato da G. Baroni (e di cui io ormai facevo stabilmente parte) in collaborazione con G. Giacomelli e con H. Hofmann partecipò a una ricerca di monopoli magnetici agli ISR (Intersecting Storage Rings) del CERN utilizzando rivelatori plastici (a cui accennerò più avanti). Oltre i pregi vennero alla luce anche i difetti della tecnica delle emulsioni nucleari. L'impossibilità di determinare l'istante del passaggio della particella osservata impediva la correlazione temporale fra le diverse topologie presenti e soprattutto si accumulavano, durante l'esposizione, tracce di fondo rispetto alle tracce da osservare. Inoltre il lavoro di scanning diventava particolarmente lento e pesante quando si dovevano analizzare grandi volumi di lastre esposte ai fasci di particelle. Nonostante si avessero a disposizione numerosi e qualificati esperti, il lavoro si stava trasformando in una vera e propria "ricerca dell'ago nel pagliaio".

Qui è opportuna una digressione riguardo gli strumenti di misura per le lastre, cioè i microscopi, e riguardo il personale tecnico addetto alle misure, cioè i cosiddetti "scanners". I microscopi ottici utilizzati per questa attività erano di due categorie: quelli per la ricerca degli eventi e quelli per le misure di precisione. Negli anni Cinquanta la produzione industriale di strumenti ottico-meccanici di precisione era molto florida: in Italia, la Galileo produceva microscopi di qualità in grado di competere con le industrie tedesche (allora divise in occidentali e orientali) che fornivano al mercato i microscopi Leitz e Koritska.

Il laboratorio Emulsioni di Roma ebbe intorno al 1960 la massima espansione in termini di personale tecnico e di strutture dedicate alle misure: lavoravano nel gruppo, in turni e a tempo più o meno pieno, circa venti scanners su una decina di postazioni fisse: il gruppo possedeva quattro microscopi di alta precisione del tipo R4 e MS2 e circa otto microscopi Leitz per lo scanning. Questi strumenti hanno svolto una lunga e brillante attività e un confronto fra le qualità meccaniche e ottiche di quei microscopi con quelle degli attuali prodotti commerciali sarebbe impietoso e favorevole agli antichi. Oltre alle qualità intrinseche dei prodotti commerciali, è qui opportuno ricordare l'ingegnosità e l'abilità di alcuni tecnici che lavoravano nel gruppo e che costruirono una serie di preziosi accessori in grado di



Figura 19.3: Microscopio Koritska MS2, utilizzato a Roma per oltre trenta anni per misure di altissima precisione (1956).

migliorare le prestazioni tecniche e la qualità del lavoro ai microscopi; fra loro è doveroso ricordare Alfredo Pellizzoni e Romolo Diotallevi per la parte strumentale e Claudio Sgarbi per i primi tentativi di elaborazione numerica rapida delle misure fatte.

Come detto precedentemente, il lavoro al microscopio diventò più lento e faticoso e alcuni scanners lasciarono l'attività. Una considerazione curiosa sulla pesantezza del loro lavoro: non essendoci allora nessuna forma di acquisizione automatica durante la misura, i microscopisti dovevano in continuazione cambiare la focalizzazione del proprio campo visivo e per alcuni di loro era necessario mettere e togliere ripetutamente gli occhiali, per scrivere su un foglio di carta le coordinate dei punti e gli altri numeri relativi alla misura in corso!

Fu perciò inevitabile che agli inizi degli anni Settanta le emulsioni nucleari conoscessero un temporaneo periodo di decadenza. Fra le cause ci fu anche la spietata concorrenza delle Camere a bolle fra i rivelatori visualizzanti e delle Camere a scintilla e delle Camere a fili fra i rivelatori elettronici. Gli esperimenti che in quell'epoca utilizzarono le Camere a bolle per la rivelazione di particelle dettero risultati eccellenti: la risoluzione temporale degli eventi selezionati da un trigger esterno era buona e la risoluzione spaziale delle tracce e delle topologie degli eventi era inferiore a quella delle emulsioni ma sufficiente per gli scopi perseguiti. Anche il lavoro degli

osservatori di fotogrammi, gli equivalenti dei microscopisti, era più agevole. A Roma era presente un valido e nutrito gruppo di Camere a bolle, guidato da Romano Bizzarri, già in possesso di un buon livello di automatizzazione delle misure e con cui ci furono sempre buoni rapporti di contiguità. Fu importante il loro contributo tecnologico quando negli anni successivi gli emulsionisti iniziarono a automatizzare parzialmente le misure.



Figura 19.4: Laboratorio Microscopi di Roma nei primi anni Ottanta con i ricercatori, i tecnici e gli scanners del Gruppo Emulsioni. In particolare, in prima fila da destra sono visibili: Augusta Manfredini, Giustina Baroni e Sergio Di Liberto; al centro, Giulio Cortini.

Di questa temporanea crisi della tecnica delle emulsioni, io fui testimone diretto essendomi laureato a Roma nel 1970 con G. Baroni con una tesi di analisi-dati sul momento magnetico del Lambda di cui ho parlato precedentemente. Ricordo ancora lo scetticismo dei miei colleghi di studio quando iniziai e terminai il mio lavoro di tesi: “Non hai futuro...!”. Infatti nei tre anni successivi io rimasi a lavorare con il gruppo, ancora denominato Emulsioni Nucleari, ma la nostra attività scientifica cambiò indirizzo, la fisica degli Ioni pesanti e la tecnica, i rivelatori plastici come la nitrocellulosa e il Lexan (rivelatori visualizzanti con sviluppo elettrochimico dopo l'esposizione alle particelle studiate).

Nel 1972 entrò in funzione il Protosincrotrone del Fermilab nell'Illinois, la prima fra le macchine adroniche di nuova generazione, che accelerava protoni fino ad una energia di 300 GeV. Il gruppo di Roma partecipò ad un

primo esperimento tradizionale, esponendo uno stack di emulsioni sul fascio di protoni senza rivelatori esterni per la selezione degli eventi; si ottennero risultati conseguenti, fu cioè possibile dare soltanto una misura di sezione d'urto totale all'energia di riferimento [6].

La svolta storica per le emulsioni nucleari, cioè il primo esperimento di "tecniche ibride" con emulsioni nucleari accoppiate a un rivelatore esterno per la selezione degli eventi di interesse, si realizzò nel 1974 sotto la guida di E. Burhop (Esperimento E247). Al Fermilab era disponibile un fascio di neutrini a larga banda: fu realizzato un esperimento in cui le emulsioni rappresentavano il bersaglio attivo ed erano seguite lungo la linea del fascio da una Camera a scintilla "wide gap", da un assorbitore e da un rivelatore di muoni. Questo dispositivo sperimentale era stato ottimizzato per poter rivelare in emulsioni eventuali "short lived particles" cioè particelle con vita media intorno a 10^{-13} s, di cui i teorici avevano ipotizzato l'esistenza all'interno del Modello a quark [7].

L'esperimento [8] ebbe un ottimo risultato in quanto si ebbe la prima osservazione diretta di produzione e decadimento di una particella dotata di quark "charm". Il percorso di questa particella all'interno dell'emulsione era stato di 182 micron dal vertice di produzione fino al decadimento in tre particelle cariche. L'eccellenza dell'apparato sperimentale permise di osservare nella camera a scintilla e nel rivelatore di muoni, la gran parte delle tracce primarie prodotte dal neutrino e quelle provenienti dal decadimento. Fu così possibile restringere il volume fiduciale in cui confinare il vertice primario a solo 0.7 cm^3 , molto ridotto rispetto a quelli della tradizionale ricerca "alla cieca" del punto di interazione. In questo esperimento si consolidò una solida collaborazione fra alcuni gruppi emulsionisti europei (Bruxelles, Dublino, UC Londra, Roma e a cui si aggiunse in seguito Torino) che partecipò ai due successivi esperimenti al CERN in cui la tecnica ibrida fu ulteriormente perfezionata.

Infatti, poco tempo dopo (1976–1978), M. Conversi propose e realizzò un esperimento al CERN (Esperimento WA17) per studiare "the decay of charmed particles produced by high energy neutrinos using simultaneously emulsion, bubble chamber and counter techniques" [9].

L'esperimento utilizzava la camera a bolle BEBC alla cui finestra di ingresso, rispetto al fascio, erano accostati gli stack di emulsioni. Una serie di scintillatori e di piccole camere a scintilla erano posizionati lungo il fascio e alcune grandi camere a fili circondavano BEBC per identificare i muoni.



Figura 19.5: Una divertente ricostruzione del primo evento di decadimento “charmato” osservato a Roma nell’esperimento WA 17 (1979): oltre all’evento reale osservato nelle emulsioni nucleari (decadimento in tre particelle cariche), il decadimento fittizio utilizzando al posto dei granuli di argento, le teste dei ricercatori e scanners del Gruppo.

La presenza e l’apporto scientifico degli italiani a questo esperimento fu predominante; alla collaborazione presero parte, oltre ai gruppi emulsionisti soprannominati, i gruppi italiani per le camere a bolle e per i rivelatori elettronici di Pisa, Roma e Torino. I risultati scientifici furono di grande rilevanza: si identificarono otto eventi riconducibili alla produzione di particelle con charm, fra cui il primo evento identificabile come produzione del Λ_c^+ (barione con carica positiva e con un quark “charm”).

Un nuovo importante successo per le emulsioni nucleari e per le tecniche ibride fu conseguito negli anni 1980–1984 al CERN nell’esperimento WA75 sotto la guida di P. Musset. L’esperimento si riprometteva lo studio di pro-

duzione adronica di particelle costituite di “heavy quarks”, cioè produzione singola o associata di particelle con “charm” e “beauty”. A un fascio di pioni negativi di 350 GeV/c fu esposto un apparato sperimentale ibrido, costituito dal bersaglio attivo di emulsioni nucleari, da un rivelatore di vertice molto accurato basato su piani di microstrip al silicio e da una serie numerosa di camere a fili che precedevano e seguivano uno spettrometro magnetico per l’identificazione dei muoni prodotti.

Il risultato più eclatante [10] (immediatamente presentato alla comunità scientifica internazionale) fu la prima osservazione diretta di un evento in cui all’interazione primaria seguivano quattro topologie di decadimento, cariche e neutre, interpretabili come la produzione associata di una coppia di mesoni “beauty”, B^- e \overline{B}^0 , che successivamente decadevano in mesoni “charm”, D^- e D^0 . Tutti i decadimenti avvenivano all’interno dello stack e con lunghezze di decadimento comprese fra 430 e 8400 μm .

A questo eccitante risultato seguì lo studio sistematico delle topologie di decadimento di circa un centinaio di eventi di produzione associata di mesoni “charm”, sempre ricostruiti dai rivelatori a valle del bersaglio emulsioni, confinati in un volume fiduciale estremamente ridotto e infine ritrovati nelle lastre durante il successivo lavoro di scanning. Questo esperimento segnò sicuramente il momento di massimo splendore della seconda vita delle emulsioni nucleari!

Alcune considerazioni si impongono a commento di questi rinnovati successi. Un grande contributo è sicuramente da attribuire a una nuova generazione di fisici che all’interno dei gruppi europei “emulsionisti tradizionali” portarono, con entusiasmo e con uguale spirito pionieristico, un modo nuovo e più efficace di utilizzare questa tecnica di rivelazione; fra gli stranieri vanno ricordati J. Sacton a Bruxelles, D. H. Davis a UC Londra e A. Montwill a Dublino. Fra i fisici italiani è doveroso ricordare il contributo sostanziale di G. Romano prima nel gruppo di Roma e successivamente nel gruppo di Salerno. A lui va sicuramente il merito di aver perfezionato la tecnica di costruzione degli stack consentendo il passaggio dei riferimenti fra lastra e lastra con precisioni inferiori a 100 μm ; inoltre il trattamento di una così grande quantità di lastre (prima, durante e dopo l’esposizione ai fasci di particelle) è stato possibile grazie a una razionalizzazione delle procedure, da lui introdotta [11]. Infine non va dimenticato che tutte le misure di alta precisione sono state fatte (o ripetute) a Roma sotto la sua supervisione. Un’altra nota positiva di questi esperimenti “di successo” è stato l’inizio

della collaborazione con i gruppi emulsionisti giapponesi che continua a tutt'oggi. I gruppi che parteciparono agli esperimenti con emulsioni al CERN erano numerosi, provenienti da varie università del Giappone, in generale con pochi fisici e scanners partecipanti, ma sotto l'efficiente leadership del gruppo di Nagoya, guidato prima da K. Niu e successivamente da K. Niwa. Questo gruppo era molto numeroso, di grande esperienza e all'avanguardia nelle tecniche di automazione computerizzata delle misure. Molti furono i vantaggi derivanti da questa collaborazione. Il primo, di ordine pratico, riguardava proprio l'acquisto e la preparazione degli stack di emulsioni nucleari. I produttori europei di gel di emulsioni erano usciti fuori dal mercato della produzione a fini scientifici. Restava disponibile la giapponese Fuji che però forniva il gel solo sotto forma di liquido. Il gel liquido andava successivamente "colato", ovviamente in una camera oscura opportunamente climatizzata. Questo tipo di preparazione era completamente sconosciuto per i gruppi europei ma presentava il grande vantaggio di fornire "lastre fresche" di emulsioni poco prima della esposizione come bersaglio, senza accumulare al suo interno particelle di fondo (inevitabili in caso di preparazione in fabbrica e di trasporto aereo). In tempi brevi fu allestito al CERN un altro laboratorio, sotto la guida di K. Hoshino e di G. Romano, per il "pouring", cioè per fare le colate del gel liquido su opportune superfici di acciaio trattato. Si ottenevano così le lastre "fresche", ciascuna di superficie di circa un metro quadrato, che venivano impilate e marcate lateralmente a raggi X per formare così gli stack da esporre. Il lavoro di preparazione, come pure quello successivo di sviluppo delle lastre, durò parecchi mesi e coinvolse sempre almeno una ventina di persone organizzate in turni continui di lavoro.

La collaborazione con i gruppi giapponesi fu inizialmente difficile, con alcune reciproche diffidenze sui metodi di lavoro. Rapidamente però fu raggiunto un buon affiatamento, testimoniato anche fuori dall'ambiente strettamente del lavoro da cene conviviali e altre attività ricreative.

Un altro importante risultato conseguito grazie alla collaborazione con i gruppi emulsionisti giapponesi è stato certamente la progressiva automatizzazione nelle misure con i nostri microscopi.

È qui opportuna nuovamente una piccola digressione. Fino agli inizi degli anni Settanta lo scanning e le misure, a Roma (ma anche negli altri gruppi italiani attivi con le emulsioni, Torino e Bari), erano effettuati in modo completamente manuale. Il primo tentativo di automatizzazione riguardò

la lettura delle coordinate esterne (x , y orizzontali e z verticale lungo l'asse focale) del "piatto" del microscopio, cioè del piano su cui viene bloccata la lastra di emulsione montata sul suo supporto vetroso. Furono inseriti degli encoder e degli step motors in grado di poter misurare le coordinate esterne con precisione fino a 1 micron e leggerle su un display luminoso [12]. Questo era indubbiamente un passo avanti. L'acquisizione delle coordinate all'interno del campo visivo, quello cioè ottenuto tramite il sistema obiettivo+oculare, rimaneva manuale tramite lettura di "scalette" micrometriche opportunamente tarate.

Il sogno che tutti avevamo era quello di poter immagazzinare l'immagine del campo osservato. Oggi, nel tempo dei videotelefonini e delle webcam, tutto ciò fa sorridere!!! I primi tentativi di sovrapporre all'immagine osservata nel campo un disegno qualsiasi, per esempio una topologia di decadimento, furono realizzati con la ingegnosa introduzione sull'asse ottico di uno specchio semiopaco a 45° che proiettava sul campo visivo dell'oculare l'immagine di un disegno posto su un piano illuminato, la cosiddetta Camera lucida.

A metà degli anni Ottanta furono disponibili le prime telecamere a stato solido commerciali; furono installate sulla "testa" del microscopio, curando molto la meccanica di tutto il sistema allo scopo di evitare distorsioni di immagine. Erano inoltre disponibili monitor commerciali a buona risoluzione su cui proiettare il campo visivo. Anche l'utilizzo dei calcolatori elettronici aveva cambiato filosofia; non si usavano più megacomputer centralizzati come l'IBM-7040 o l'UNIVAC-1110, ma il calcolo automatizzato era impostato su computer di potenza intermedia, completamente dedicati al processo in studio. Il gruppo emulsioni di Roma ereditò dai colleghi di Camera a bolle un PDP-11 con i relativi programmi software e finalmente nel 1988 ottenne i finanziamenti per acquistare un Microvax-100. Fu un grande evento! I programmi software furono tutti "scritti in casa", non essendo ancora presenti prodotti commerciali soddisfacenti. La collaborazione con il gruppo di Nagoya, molto esperto e tecnologicamente avanzato rispetto a noi di qualche anno, ci permise di progredire molto rapidamente nell'automazione. Fu possibile nel 1993, grazie alla loro intermediazione, acquistare un microscopio Nikon completamente automatizzato. Fu installato nel nostro laboratorio di Roma in ambiente opportunamente climatizzato; per la prima volta si misurava senza dover guardare negli oculari del microscopio, ma seduti dietro a un tavolo esterno osservando il monitor di

immagine ed eseguendo le procedure con la tastiera del computer!

Le nuove tecnologie furono utilizzate nel successivo esperimento realizzato al CERN nel periodo 1993–1997. L’Esperimento WA95 (più noto con l’acronimo CHORUS) [13] si riprometteva la osservazione di possibili oscillazioni di neutrino predette dal Modello standard. Come è noto, la teoria prevede l’esistenza di n famiglie di doppietti leptonici costituiti da particella carica puntiforme e dal relativo neutrino; la conservazione del numero leptonico nelle interazioni e nei decadimenti è relativa a ciascuna famiglia leptonica. L’osservazione sperimentale di anomale produzioni di neutrini di origine solare e atmosferica ha indotto le teorie a non escludere l’esistenza di neutrini massivi e oscillanti, in grado cioè di trasformarsi fra di loro.

Anche l’esperimento CHORUS era di tipo ibrido: il fascio di neutrini di tipo ν_μ attraversava un grande bersaglio di emulsioni nucleari. In presenza di una avvenuta oscillazione $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$, una interazione di quest’ultimo avrebbe potuto produrre un leptone τ . L’apparato a valle delle emulsioni era costituito da tracciatori a fibre, interni ed esterni a un magnete esagonale, da un calorimetro elettromagnetico a fibre ottiche di grande risoluzione e da uno spettrometro di muoni, per l’identificazione di tutte le particelle prodotte. L’osservazione di un evento di tale topologia non si sarebbe potuto spiegare altrimenti che per l’avvenuta oscillazione del neutrino.

Il risultato finale per l’esperimento CHORUS (e per l’analogo esperimento NOMAD in funzione al CERN nello stesso periodo) fu negativo: nessun evento riconducibile a oscillazione di neutrini fu osservato. La spiegazione dei teorici fu che l’energia dei neutrini e il percorso “a disposizione dei neutrini per oscillare” non erano quelli idonei. Altri risultati sperimentali, provenienti dai neutrini atmosferici e da esperimenti con reattori nucleari, continuavano però a spingere la comunità dei fisici a studiare le oscillazioni di neutrini prodotti da acceleratori, in differenti condizioni sperimentali.

Con CHORUS finì la mia attività all’interno del gruppo emulsioni nucleari di Roma. Infatti, con F. Meddi e M. A. Mazzoni decidemmo di partecipare alla preparazione dell’esperimento ALICE [14] al costruendo acceleratore LHC del CERN in grado di studiare collisioni di nuclei pesanti Piombo–Piombo a energie dell’ordine dei 3 TeV per nucleone. I rivelatori di particelle di cui il nostro gruppo andava a progettare la realizzazione erano però differenti: rivelatori al silicio di tipo pixel e di tipo drift. L’esperienza acquisita con le emulsioni nucleari si è rivelata comunque utile per le comuni caratteristiche di altissima risoluzione spaziale fra queste due differenti

tecnologie.

L'attività del gruppo Emulsioni di Roma non si è fermata poiché G. Rosa (anche lui con una grande esperienza di emulsioni nucleari, maturata nel nostro gruppo) decise di continuare ad utilizzare al meglio la strumentazione e le competenze tecnologiche presenti, partecipando (a partire dal 2001 e a tutt'oggi) al progetto e alla realizzazione dell'esperimento OPERA [15] al Laboratorio del Gran Sasso dell'INFN. Anche questo esperimento si propone di osservare le possibili oscillazioni di un fascio di neutrini prodotto al CERN che dopo aver viaggiato per circa 550 Km sottoterra, riemerge proprio in corrispondenza di una sala sperimentale del Laboratorio posto sotto la montagna. Qui il fascio con gli eventuali neutrini "oscillati" investe un bersaglio di emulsioni nucleari, inframezzato da rivelatori per tracciare il percorso delle particelle prodotte. Si prevede che l'esperimento OPERA cominci la propria acquisizione di dati nel 2006.

Il gruppo Emulsioni di Roma si prepara a festeggiare fra poco tempo i sessanta anni di ininterrotta presenza all'interno del Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza e della Sezione dell'INFN. Mi auguro che questa mia breve illustrazione abbia contribuito ad evidenziare anche la vitalità e la validità scientifica delle attività sperimentali e dei risultati raggiunti.

Ai giovani studenti di Fisica che quotidianamente si aggirano con l'aria un po' sperduta per i corridoi degli edifici del Dipartimento, suggerirei di guardare con attenzione e con affetto gli armadi e le vetrine che custodiscono gli strumenti "storici" utilizzati negli anni dal nostro laboratorio (e ovviamente quelli appartenuti agli altri gruppi sperimentali): il sapere scientifico passa anche attraverso di loro!

Bibliografia

- [1] M. Grilli e F. Sebastiani, Collaborations among nuclear emulsion groups in Europe during the 1950's, *Riv. Stor. Sci.* (II) 4, 181 (1996); M. Grilli, Evoluzione della tecnica delle emulsioni nucleari (I) e (II), *Nota Interna* 860, 22 gennaio '86 e *Nota Interna* 890, 3 novembre 1987, Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza".
- [2] W. H. Barkas, *Nuclear Research Emulsion* (Academic Press, New York, 1963).
- [3] E. Dahl-Jensen *et al.*, A new measurement of the Magnetic Moment of the Λ hyperon, *Il Nuovo Cimento* 3A, 1 (1971).
- [4] P. A. M. Dirac, Quantized Singularities in the Electromagnetic Field, *Proc. Roy. Soc.* A133, 60 (1931).

- [5] E. Amaldi, *Old and new problems in elementary particles* (Academic Press, New York, 1968).
- [6] J. Hebert *et al.*, Nuclear interactions of 300 GeV protons in emulsion, *Phys. Rev. D* 15, 7 (1977).
- [7] G. Altarelli, N. Cabibbo e L. Maiani, Possibility that Charmed Vector Mesons are Lighter than Charmed Pseudoscalars, *Phys. Rev. Lett.* 35, 635 (1975).
- [8] E247 Collaboration, Observation of a likely example of the decay of a charmed particle; E.H.S. Burhop *et al.*, *Phys. Lett.* 65 B, 299 (1976).
- [9] D. Allasia *et al.* (WA17 Collaboration), Investigation of the decay of charmed particles produced in neutrino interactions, *Nucl. Phys. B* 176, 13 (1980).
- [10] J. P. Albanese *et al.* (WA75 Collaboration), Direct observation of the decay of beauty particles into charm particles, *Phys. Lett.* 158 B, 186 (1985).
- [11] G. Romano, An accurate reference systems in stacks of nuclear emulsion, CERN-EP 85-18 (1985).
- [12] G. Baroni *et al.*, An interactive system for emulsion data acquisition, *Nucl. Instr. Meth.* 214, 381 (1983).
- [13] E. Eskut *et al.* (CHORUS Collaboration), The CHORUS experiment to search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillation, *Nucl. Instr. Meth.* A 401, 7 (1997).
- [14] ALICE Collaboration, ALICE – A Large Ion Collider Experiment, CERN/LHCC 95-71 (1995).
- [15] OPERA Collaboration, The OPERA ν_τ appearance in the CERN-Gran Sasso neutrino beam, CERN/SPSC 98-25, LNGS-LOI 8/97.

19.2 Vita scientifica di un fisico nucleare a Roma

19.2.1 Premessa

Nel raccontare la propria esperienza nel mondo scientifico italiano, è opportuno premettere subito che può risultare difficile una generalizzazione di quanto descritto ad altri ambienti e ad altre persone che hanno vissuto esperienze analoghe. Pertanto è probabile che alcuni lettori di questa mia nota si riconoscano poco o parzialmente nelle mie considerazioni. È bene quindi puntualizzare che la mia esperienza scientifica, qui raccontata, come fisico nucleare (o meglio subnucleare, come si suole definire lo studioso di fisica delle particelle elementari) inizia nel 1970 dopo essermi laureato in Fisica nell'allora Istituto di Fisica dell'Università di Roma. La mia attività è proseguita da allora a tutt'oggi avendo sempre come riferimento lo stesso luogo (oggi denominato Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza"), anche se nel corso degli anni ho cambiato il mio "datore di lavoro" (dall'Università all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) e ho alternato l'attività scientifica in sede a periodi di lavoro in laboratori esterni, principalmente il laboratorio di Ginevra.

Sono sufficientemente convinto che quanto raccontato qui possa documentare le esperienze di parecchi colleghi fisici miei coetanei che hanno intrapreso la carriera scientifica nelle grandi Università italiane o nelle strutture dei principali Enti pubblici di ricerca, come il CNR e l'INFN. Ho cercato qui anche di confrontare la mia esperienza lavorativa con quella di colleghi di poco più anziani di me e con quella delle ormai parecchie generazioni di fisici più giovani.

Vorrei infine enfatizzare che la vita scientifica deve sempre essere valutata sulla "vivibilità scientifica": anche se qui si parla di carriere, precariato, retribuzioni e finanziamenti scientifici e appare spesso la possibilità di fare paragoni ("meglio allora o oggi?"), la parola vivibilità vuole ricordare che alla radice delle motivazioni di chi svolge attività di ricerca scientifica, c'è sempre la convinzione che l'ingegno umano si sviluppi meglio in una società che rispetti i valori etici della scienza.

19.2.2 Gli anni del precariato

Come detto precedentemente, mi sono laureato nel novembre 1970 a Roma e ho avuto il privilegio di essere proclamato dottore in Fisica dalla stentorea

voce del professor Edoardo Amaldi. Gli echi del movimento studentesco del 1968 erano ancora presenti nella vita scientifica e nella quotidianità dell'Istituto di Fisica. I docenti di ruolo erano molto pochi a paragone di quanto accadrà negli anni successivi. I professori ordinari erano nove (tutti con l'ufficio al "corridoio nobile del secondo piano"), gli assistenti una ventina e vi erano parecchi professori incaricati per la copertura dei corsi didattici per i fisici e per gli altri studenti della Facoltà di Scienze MFN. Alcuni di essi svolgevano la loro attività scientifica esternamente all'Istituto, in prevalenza ai Laboratori di Frascati e della Casaccia. Il numero degli studenti immatricolati a Fisica ogni anno era allora circa cento, di cui una sessantina completavano il corso di studi laureandosi, difficilmente in corso (quattro anni) ma con una durata media che non superava i sei anni. In conseguenza di ciò non esistevano corsi sdoppiati, quasi tutte le lezioni si svolgevano nelle ore antimeridiane e i laboratori in quelle pomeridiane e, a parte i corsi matematici e il corso di chimica, tutta la attività didattica era svolta nell'edificio oggi denominato "Guglielmo Marconi".

A seguito delle pressanti richieste dei movimenti degli studenti e con l'appoggio di alcune forze politiche e sindacali, agli inizi degli anni Settanta furono istituiti i corsi serali per gli studenti lavoratori e si iniziarono a sdoppiare i corsi fondamentali a seguito dell'aumento delle iscrizioni ai corsi di laurea, anche per motivi demografici. Fu iniziato allora il reclutamento di personale docente per svolgere i corsi e le esercitazioni; nella tradizione dell'Istituto l'attività didattica era imprescindibile dall'attività di ricerca nei differenti settori presenti, per cui nel giro di due-tre anni furono bandite una ventina di Borse di studio, annuali o biennali, dai diversi Enti deputati alla ricerca (Ministero della Pubblica Istruzione, Università: CNR, INFN ma anche Enti di minore dimensione come l'Accademia dei Lincei). Le finalità delle borse di studio erano la ricerca nei settori allora predominanti: Fisica nucleare e subnucleare, Struttura della materia, Astrofisica e Fisica teorica.

Io ottenni nel gennaio del 1972 una Borsa di studio ministeriale biennale e potei continuare a svolgere l'attività scientifica nel gruppo in cui mi ero laureato sotto la guida di Giustina Baroni. Inoltre fui immediatamente inserito nel gruppo degli esercitatori per il corso di Fisica generale per matematici per cui nel giro di circa un anno passai dalla posizione di studente a quella di docente. Fu una esperienza impegnativa ma molto gratificante. Si creò quindi nell'Istituto intorno al 1973 una situazione in cui i posti

fissi di professore e di assistente erano pochi e tutti ricoperti, i docenti per i nuovi corsi erano professori incaricati annuali e i borsisti avevano scadenze continue e ravvicinate. Nacque quindi un “movimento dei precari” all’interno dell’Istituto di Fisica, combattivo e sindacalizzato.

19.2.3 I concorsi e il posto di lavoro permanente

Nel 1974 il Parlamento approvò la Legge 776 – “Provvedimenti urgenti per l’Università” che permise la stabilizzazione per molte persone che avevano un rapporto di lavoro precario nel mondo accademico. I professori aggregati “maturi in cattedra” divennero ordinari, i professori incaricati stabilizzati e gli assistenti entrarono nel nuovo ruolo dei professori associati previo giudizio di idoneità e i borsisti ed esercitatori divennero “ope legis” contrattisti quadriennali.

Nel 1975 il Parlamento approvò la Legge 70 che riordinava giuridicamente gli Enti pubblici di ricerca italiani in quel coacervo di Istituzioni denominato “Parastato”.

È evidente che il nuovo quadro legislativo favorì la creazione di posizioni di lavoro permanenti tramite stabilizzazioni o nuovi concorsi. Quasi tutti i giovani fisici miei coetanei operanti nell’Istituto ottennero nel periodo 1974–1978 la certezza del posto permanente (è da tenere in questo conto anche il reclutamento nei vicini Laboratori dell’area di ricerca di Frascati). Io risultai vincitore nel 1976 di un posto di ricercatore presso la Sezione di Roma dell’INFN.

Credo perciò di poter valutare per i fisici romani della mia generazione in 6 – 8 anni il periodo di precariato fra la laurea e il posto fisso. Per la generazione di poco precedente la mia, si realizzò una situazione più favorevole ma solo per coloro, fra i fisici nucleari sperimentali, che si indirizzarono verso i Laboratori di Frascati, allora gestiti dal CNEN, all’epoca dello sviluppo delle prime macchine acceleratrici.

Gli anni successivi furono sicuramente più difficili per i fisici neolaureati. Le riforme legislative a cui ho prima accennato avevano sanato le situazioni precarie pregresse ma avevano anche saturato i posti disponibili. Inoltre si erano introdotti nuovi meccanismi concorsuali lunghi e complessi per le Università e blocchi delle normative per gli Enti di ricerca, dovuti anche alla esasperante contrattualizzazione sindacale. Basti solo citare che nei rinnovi contrattuali e normativi del Parastato le esigenze del CNR, INFN etc. dovevano coesistere con quelle dell’INPS del CONI dell’ ISTAT, dell’Ente

Sila (!!!) e simili. L'unica via preferenziale per nuovi posti permanenti fu la nascita di nuove Università (e/o nuovi corsi di laurea) e conseguentemente nuove Sezioni dell'INFN.

All'allungamento del periodo di precariato contribuì anche l'istituzione del Dottorato di ricerca in Fisica che portò indubbiamente dei benefici culturali e professionali ma prolungò in pratica di circa tre anni l'attesa per il posto fisso.

Infine se ci si rapporta ai nostri giorni, la situazione di incertezza diventa drammatica. A tutte le difficoltà precedenti si aggiunge oggi la miopia, per usare un eufemismo, di quelle forze politiche ed economiche che considerano la ricerca fondamentale (spesso definita non produttiva e senza ricadute tecnologiche) un lusso da colpire non appena ci si trovi in congiunture economiche sfavorevoli. Si presentano così le famose Leggi Finanziarie che bloccano le assunzioni e che inevitabilmente alzano in modo spaventoso l'età media dei docenti e ricercatori italiani. La situazione attuale è facilmente fotografata: un brillante studente si laurea oggi in Fisica intorno ai 24-25 anni, finisce il Dottorato di ricerca intorno ai 28 anni, prosegue l'attività di ricerca in posizione precaria con borse post-doc e assegni di ricerca e poi partecipa ai rarissimi concorsi per ricercatore (uno-due per anno e per sede fra Università e INFN). L'età media dei circa venti candidati presentatisi all'ultimo concorso (luglio 2005) per un posto di ricercatore sperimentale alla Sezione INFN di Roma è stata di circa 35 anni. Una volta proclamato vincitore, costui dovrà attendere ancora parecchi mesi per iniziare il lavoro a causa del blocco delle assunzioni.

In conclusione, è opportuno ribadire fermamente che per il docente e per il ricercatore scientifico il posto permanente non è una scrivania e una sedia su cui soggiornare ma la possibilità di utilizzare il proprio intelletto in condizioni di vita accettabili e con una certezza di futuro: ciò che io ho chiamato "vivibilità scientifica".

19.2.4 La mobilità e l'attività scientifica all'estero

È qui doveroso ricordare la mobilità delle carriere scientifiche presente nei periodi passati e che oggi è difficilmente praticabile. Negli anni Settanta, la scelta se intraprendere la strada universitaria o quella negli enti di ricerca era praticamente equivalente. Lo svolgimento di attività didattica (esercitazioni o tutoraggi) era prassi normale per i giovani ricercatori operanti nell'Istituto e quindi si partecipava indifferentemente ai due tipi di concor-

si. Per molti dei fisici miei coetanei è stato del tutto casuale iniziare la carriera per l'una o per l'altra via. L'esistenza dei concorsi per la "libera docenza universitaria" e degli equivalenti concorsi "R4, R3 etc." nell'INFN permetteva un facile passaggio nei due versi e quindi un travaso dinamico fra personale docente universitario e personale ricercatore degli Enti di ricerca. Anzi, c'era un chiaro incoraggiamento da parte dei "professori illustri" a iniziare nell'INFN e poi passare a svolgere attività didattica e di ricerca nelle varie Università (anche in sedi differenti da quella iniziale). Il ritratto ideale del ricercatore INFN era quello di un fisico, sia sperimentale che teorico, giovane, "entusiasta" e disponibile per le nuove iniziative scientifiche che una volta acquisita una esperienza decennale nel proprio settore andasse a trasmetterla nel mondo didattico universitario.

Le modifiche legislative a cui ho accennato in precedenza, hanno di fatto scoraggiato o spesso impedito questa mobilità a partire dalla fine degli anni Ottanta in poi. La conseguenza peggiore è stata l'invecchiamento nei ruoli, la separazione netta fra ricerca e didattica, e il disamoramento per nuove iniziative.

Anche le possibilità per i giovani fisici di una mobilità fra il mondo scientifico italiano e i maggiori centri di ricerca stranieri si sono gradatamente ridotte fino a scomparire ai nostri giorni. Un fisico italiano che avesse lavorato con profitto per una decina di anni in laboratori prestigiosi americani come SLAC o il Fermilab o anche in laboratori europei istituzionalmente legati alla fisica italiana, come il CERN, non troverebbe nessun percorso privilegiato se decidesse di tornare a svolgere attività scientifica in Italia. Anche i congedi per studio o gli "anni sabbatici" sono tuttora visti dalle strutture gestionali più come una "grana" che come un'utilità per la comunità scientifica.

19.2.5 I livelli di carriera e le retribuzioni

Una disquisizione sulla congruità in assoluto delle retribuzioni salariali dei fisici italiani operanti in strutture scientifiche pubbliche si presta a facili banalità.

È indubbio che le retribuzioni nella loro istituzione dei colleghi francesi, inglesi o tedeschi con cui si collabora al CERN sono in assoluto più alte delle analoghe retribuzioni italiane; più difficile è la valutazione del costo della vita in ciascun paese. È ugualmente vero che oggi si devono confrontare le nostre retribuzioni anche con quelle di colleghi provenienti da paesi meno

ricchi, come i latinoamericani o gli indiani o i cinesi; in questo caso il confronto diventa imbarazzante.

Diverso è il discorso se si paragonano le retribuzioni dei ricercatori scientifici con altre categorie italiane. I pochi fisici che svolgono libera professione (nel settore elettronico–informatico ad esempio) hanno guadagni più elevati ma anche rischi più alti. I fisici che lavorano nelle medio–grandi industrie guadagnano di più solo se hanno rilevanti responsabilità manageriali. Trovo anche corretto osservare che ci sono altri “lavoratori della cultura” come ad esempio gli archeologi, che si trovano in situazioni retributive più misere delle nostre.

È più opportuno perciò fare in questa sede alcune considerazioni sulla scarsa valorizzazione, in termini retributivi e di sviluppo di carriera, della tanto verbalmente esaltata “professionalità”; questo consentirà anche un confronto specifico fra le due categorie più a contatto fra loro, cioè i docenti e ricercatori universitari e i ricercatori degli Enti di ricerca.

Il mondo accademico è riuscito nonostante i molti interventi legislativi a conservare alcuni caposaldi fondamentali: l’autonomia nella gestione del proprio personale, la progressione di carriera per livelli differenziati e per concorsi pubblici nazionali e la non contrattualità delle retribuzioni.

Gli Enti pubblici di ricerca hanno invece sofferto moltissimo le conseguenze dell’inquadramento normativo nel già nominato “Parastato”. L’effetto più negativo, per un lungo periodo di tempo, è stato la scomparsa formale negli Enti di ricerca della figura del ricercatore!!! Nel rinnovo contrattuale del 1978, tutti i ricercatori dell’INFN che con i concorsi R5, R, R3 avevano sviluppato una carriera di merito scientifico, furono ridefiniti e trasbordati nel profilo unico di Collaboratore tecnico–professionale (CTP). Quanto fosse considerata la nostra professionalità è facile a dirsi: le Organizzazioni sindacali impegnate nella trattativa concentrarono il loro impegno affinché nel profilo CTP fosse equamente valorizzata la figura dei “maestri di nuoto operanti nel CONI”!!! Lo sviluppo di carriera nel profilo unico avveniva solo per anzianità ed erano previsti dei passaggi anticipati (i cosiddetti “gradoni” che apportavano migliorie salariali dell’ordine delle ventimila lire mensili!) per ottenere i quali i ricercatori sono stati costretti a umilianti concorsi interni, indistintamente dai tecnici, con prove scritte e orali. Un noto sindacalista, molto attivo nelle trattative dei rinnovi contrattuali, definì “una ossessione” la nostra pretesa di avere uno sviluppo di carriera separato dal resto del personale e basato sul merito scientifico! Iniziò allora

una durissima battaglia dei ricercatori, durata circa dieci anni, sia verso la dirigenza degli Enti che verso le organizzazioni sindacali e che portò alla nascita di Associazioni professionali dei ricercatori. Anche il clima politico era particolarmente avverso ai ricercatori operanti nelle istituzioni scientifiche “parauniversitarie” perché nel Parlamento e nel Governo (esisteva allora il Ministero, senza portafoglio, della Ricerca) prevaleva il “modello ENEA” e la “logica delle ricadute industriali”.

La svolta favorevole avvenne nel 1985 quando fu creato il Ministero per l’Università e la Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST). La prima personalità che venne nominata ministro del nuovo dicastero fu Antonio Ruberti: il mondo della ricerca scientifica pubblica italiana deve molto alla sua lungimiranza se si riuscì a uscire dalla palude in cui si erano vissuti gli anni precedenti.

La figura del ricercatore, distinta da quella del tecnologo, fu formalmente reintrodotta nei ruoli degli Enti pubblici di ricerca. In analogia con la struttura universitaria furono istituite tre fasce per il profilo di ricercatore (dirigente di ricerca, primo ricercatore e ricercatore) con accesso per concorso pubblico nazionale. Il merito scientifico ritornava ad essere il fulcro delle carriere dei ricercatori! Alcuni enti come l’INFN furono abbastanza solleciti nell’attuare la nuova normativa: giudizio di idoneità per la prima applicazione e concorsi con cadenza biennale alternata per le due fasce più elevate. Altri Enti come il CNR con strutture interne molto diversificate, soffrirono molto nella attuazione al punto di vanificarne i benefici.

Ritornando al confronto delle retribuzioni fra docenti e ricercatori universitari e ricercatori degli Enti di ricerca, si può dire che l’istituzione delle tre fasce di carriera portò a una sostanziale equiparazione degli stipendi a parità di livello e di anzianità. Gli universitari hanno avuto a loro favore basi economiche leggermente più alte e la certezza dovuta alla non contrattualizzazione (“l’aggancio alla Dirigenza statale”); i ricercatori degli Enti hanno goduto di ricostruzioni più rapide e favorevoli delle anzianità pregresse e alcuni “frange benefit” come mense, asili, assicurazioni previdenziali integrative etc.

Credo perciò di poter affermare che, a parte il periodo buio del Parastato e con oscillazioni positive o negative inferiori al 10%, le retribuzioni sono sempre state confrontabili fra loro.

La situazione retributiva e normativa odierna si presenta preoccupante per entrambe le Istituzioni. La scelta politica di penalizzare i dipendenti pub-

blici anche in settori vitali per l'economia italiana come l'istruzione e la ricerca scientifica, ha colpito tutti. Il pericolo più grande resta comunque la volontà politica di eliminare la fascia del reclutamento (la terza fascia, cioè i giovani ricercatori) come posizione stabile e sostituirla con contratti a tempo determinato in nome di un liberismo e di una mobilità pubblico-privato che in Italia non esiste, anche per lo scarso interesse delle industrie private a sviluppare la ricerca.

19.2.6 Finanziare la ricerca in fisica nucleare

I finanziamenti per le attività di ricerca, sperimentali e teoriche, della fisica nucleare e subnucleare italiana furono istituzionalmente affidati all' INFN fin dalla sua costituzione nel 1951. I finanziamenti per le partecipazioni italiane alla costruzione e gestione delle grandi macchine acceleratrici internazionali sono stati invece gestiti dal Ministero degli Esteri italiano previa consultazione con la dirigenza dell'Ente.

L'INFN ha gestito le sue attività di ricerca tramite le Commissioni scientifiche nazionali i cui Presidenti e membri sono stati sempre eletti dalla comunità scientifica di riferimento. Tutti gli esperimenti approvati sono stati preventivamente valutati da uno o più referenti scientifici che hanno anche valutato la congruità dei finanziamenti richiesti. Si sono perciò evitati sprechi e duplicazioni, spesso sono stati accorpati esperimenti simili. I finanziamenti hanno riguardato la costruzione degli apparati, l'acquisto della strumentazione scientifica e del materiale di consumo, oltre alla copertura delle trasferte nazionali e internazionali dei tecnici e dei ricercatori. Non è stata invece mai consentita la possibilità, come avviene ad esempio negli Stati Uniti, di pagare sui propri fondi di ricerca borsisti, collaboratori e altro personale scientifico qualificato.

Agli inizi degli anni Novanta, agli ordinari finanziamenti per gli Enti di ricerca, si sono affiancati fondi universitari (cosiddetti "del 40% e del 60%") attribuiti a singoli docenti o a raggruppamenti di docenti e ricercatori universitari e gestiti dai Dipartimenti. Questi fondi, modici come importo e spesso di difficile spendibilità, hanno però permesso di integrare gli acquisti di attrezzature scientifiche e soprattutto hanno permesso di pagare collaborazioni a ricercatori e personale qualificato. Inoltre, modesti ed episodici supporti finanziari si sono avuti da parte di Enti locali (regioni, comuni etc.) o da parte di medie e piccole imprese, quasi sempre sotto forma di borse di studio tecnologiche.

Negli ultimi dieci anni si è invece concretizzata la possibilità di ottenere finanziamenti, anche ingenti, per iniziative specifiche da parte della Unione Europea. Il meccanismo di queste procedure finanziarie resta complesso e macchinoso e si attua attraverso delle “cordate” transnazionali. È facile perciò che si creino delle disomogeneità fra settore e settore e che il controllo autoreferenziale che ha sempre caratterizzato la ricerca dell’INFN si disperda.

In conclusione si può dire che, negli ultimi trenta anni, la ricerca in fisica nucleare e subnucleare in Italia non ha mai passato momenti drammatici di mancanza di risorse finanziarie; è invece mancata la continuità nella progressione finanziaria e soprattutto la certezza di poter programmare organicamente le future iniziative scientifiche. Questa incertezza è più che mai attuale ai nostri giorni.

19.2.7 La burocrazia scientifica

Nei miei primi quindici anni di attività scientifica ho avuto la fortuna di scontrarmi raramente con problemi burocratici per poter svolgere il mio lavoro; merito senz’altro dei miei colleghi più anziani ma soprattutto dei pochi ma valenti dipendenti amministrativi. In quegli anni le segreterie (didattica, scientifica, amministrativa e del personale) della Sezione INFN e dell’Istituto di Fisica di Roma lavoravano insieme : la signora Franca Maiolo che gestì con grande efficienza la segreteria didattica era dipendente amministrativo dell’INFN; il mitico cavalier Lodovico Zanchi, attivo fin dai tempi di Enrico Fermi, era il cassiere di entrambe le Istituzioni; lo stesso dicasi per il dottor Gaetano Rossiello come segretario amministrativo. Protetti da tali efficienti collaboratori, i fisici si potevano permettere un atteggiamento “spavaldo verso le scartoffie”!!!

Nel 1988 divenni il responsabile del Gruppo emulsioni nucleari in cui avevo sempre lavorato e iniziai a dover affrontare la parte burocratica della nostra attività scientifica. Anche in questo caso, le nuove disposizioni legislative avevano progressivamente appesantito le procedure riguardanti il personale (associazioni per borsisti, ospiti stranieri etc.), l’acquisto di materiale scientifico per il laboratorio e per i rivelatori d’esperienza (ricorso alle offerte multiple, dichiarazioni antimafia, conformità alle norme di sicurezza etc.). Molte di queste norme erano ragionevoli ma nell’ottica del fisico sperimentale andavano affrontate *cum grano salis*: purtroppo la piramide gerarchica–amministrativa non tollera ragionevoli distinzioni e alla fine ha

avuto il sopravvento! Il livello più basso (e ridicolo) si è toccato nel 2001 quando è entrata in vigore la famigerata “normativa CONSIP” che pretendeva di far risparmiare gli Enti pubblici italiani obbligandoli ad acquistare i servizi e i materiali (dalle matite al mobilio per uffici, dai computer ai toner per stampanti) da “cataloghi convenzionati a prezzo vantaggioso”. Se prima della norma CONSIP, riuscivamo a ordinare i personal computers (“pane quotidiano” per il nostro lavoro) ottimizzati per le nostre necessità alla ditta di fiducia che lo consegnava in pochi giorni a prezzo di mercato, successivamente abbiamo dovuto attendere molti mesi per avere prodotti non finalizzati e a prezzi fuori mercato (obsoleti e quindi più elevati). Ora la procedura CONSIP è decaduta, ma temiamo un possibile ritorno di qualcosa di simile. Un'altra ulteriore fonte di appesantimento burocratico è stata l'introduzione, in sé positiva e ineccepibile, dei vari Comitati di valutazione scientifica (interni ed esterni, nazionali e internazionali) per gli esperimenti approvati, in corso o conclusi. In definitiva, per svolgere bene il proprio lavoro il fisico valente deve sommare alle proprie conoscenze scientifiche, la capacità di affrontare problemi finanziari, contabili, giuridici e presentare il tutto in brillanti relazioni multilingue!!!

Vorrei concludere questa mia nota senza dare una risposta precisa al probabile quesito: “la vita scientifica: meglio oggi o trent'anni fa?”. Illustri predecessori ci hanno insegnato che gli studiosi possono fare bene il loro lavoro anche in tempi “di vacche magre o semplicemente snelle” purché non sia mai snaturata la loro identità e non sia mai limitata la loro autonomia; credo che, nonostante alcune avversità, i principi primi derivanti dalla nostra Costituzione ci hanno consentito sempre di fare il nostro dovere.

Vorrei infine osservare che la vivibilità nello svolgere la propria attività scientifica si è riflessa per molti di noi anche a livello familiare. Scorrendo le liste degli studenti, dei dottorandi e dei giovani ricercatori in Fisica si incontrano molti nomi di “figli d'arte”. Trovandomi anch'io in questa lieta evenienza, provo la giusta soddisfazione della continuità intellettuale.

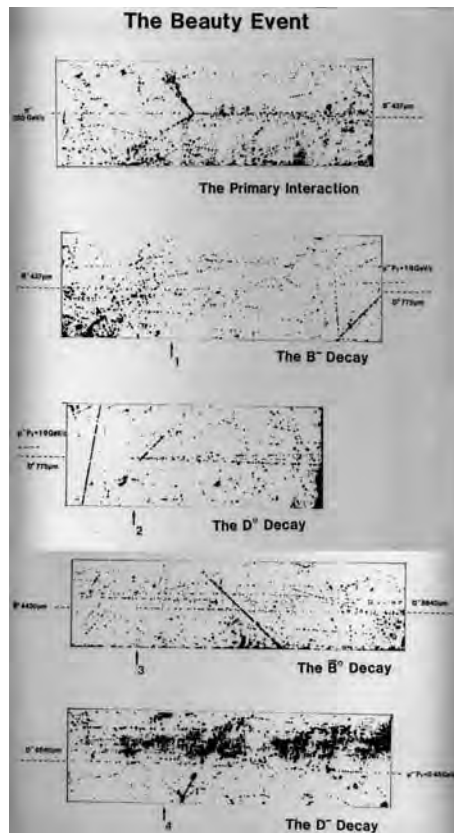


Figura 19.6: Esperimento WA75 (CERN-SPS): prima osservazione diretta di un evento a 4 decadimenti, con produzione associata di una coppia di mesoni “beauty” ciascuno dei quali osservato decadere in mesoni “charm”. Evento trovato e completamente analizzato a Roma nel 1983.

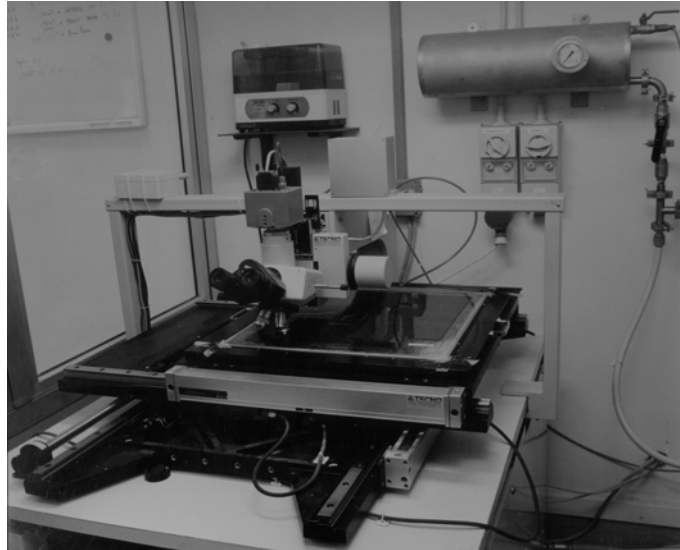


Figura 19.7: Microscopio Nikon ad alta automazione, installato in ambiente climatizzato nel laboratorio Microscopi di Roma e utilizzato per l'esperimento CHORUS (1994).

| 50 ANNI DI EMULSIONI NUCLEARI A ROMA | | | |
|---|--|---|---|
| Data inizio attività | Attività di ricerca | Sorgenti di particelle e laboratori utilizzati | Tecnica Utilizzata |
| 1947 | Studio della componente nucleonica nei Raggi Cosmici | Raggi cosmici osservati con palloni lanciati fino a 35 km da terra e a terra presso i Laboratori della Testa Grigia e del Pic du Midi | Emulsioni nucleari sensibili a particelle al minimo |
| 1949 | Studio della componente elettrofotonica nei RC | | |
| 1952 | Rivelazione e studio delle particelle strane | | |
| 1955 | Prime ricerche su esistenza e proprietà degli antiprotoni e antiperoni | Bevatron di Berkeley | Emulsioni nucleari "stripped" (senza supporto) |
| 1960 | Ricerca del Monopolo di Dirac | Protoni al CERN-PS | Emulsioni nucleari esposte in campo magnetico. Primo tentativo di automatizzare lo <i>scanning</i> al microscopio |
| 1966 | Misura dei momenti magnetici degli iperoni | Pioni al CERN-PS | Emulsioni nucleari esposte in H ₂ liquido |
| 1976 | Misure della vita media di particelle con "quark" pesanti (<i>charm</i> e <i>beauty</i>). [Esperimenti E247-WA17-NA19-WA71-WA75] | Adroni e neutrini al CERN-SPS e al Fermilab | Esperimenti ibridi emulsioni+rivelatori esterni per la selezione degli eventi da ricercare. Nuovo sviluppo nella realizzazione di microscopi automatizzati (assistiti da operatore) |
| 1986 | Ricerca di stati di quark-gluon-plasma con ioni ultrarelativistici. [Esperimento HELIOS] | Ioni O ¹⁶ , S ³² al CERN-SPS | Esperimento ibrido. Emulsioni esposte verticalmente al fascio |
| 1991 - in corso | Ricerca di oscillazioni di neutrino [Esperimento CHORUS] | Neutrini al CERN-SPS | Esperimento ibrido. Realizzazione di microscopio automatizzato con elaborazione completa dell'immagine. |

Figura 19.8: Attività del Gruppo Emulsioni nucleari nel periodo 1947–1997.

Capitolo 20

Paolo de Bernardis, Silvia Masi

Paolo de Bernardis è nato a Firenze il 1° febbraio 1959, è sposato con Silvia Masi, e ha un figlio. Laureato in Fisica (con lode) nel 1982 presso l'Università di Roma La Sapienza, diventa ricercatore Universitario nel 1984 e consegue il dottorato di Ricerca nel 1987. Diventa professore associato nel 1992, professore straordinario all'Università di Roma La Sapienza nel Novembre 2001 e professore ordinario nel 2004. Insegna presso La Sapienza i corsi di Laboratorio di Astrofisica 1 e di Astrofisica 1 e Cosmologia Osservativa per la laurea in Fisica e Astrofisica. Il suo interesse di ricerca è l'Astrofisica Sperimentale e la Cosmologia, ed in particolare lo studio della radiazione cosmica di fondo a microonde tramite esperimenti da pallone stratosferico. È Autore o co-autore di più di 100 articoli su riviste internazionali con referee. Autore o coautore di più di 100 articoli su atti di congressi o di scuole. È il "Principal Investigator" italiano dell'esperimento internazionale da pallone stratosferico BOOMERanG/B03 sull'anisotropia e polarizzazione della radiazione cosmica di fondo. Nel 1998 BOOMERanG ha misurato per la prima volta le oscillazioni del plasma primordiale e dimostrato l'assenza di curvatura dell'universo, stimando così la densità totale di massa ed energia. Per questa misura ha ottenuto il Premio Antonio Feltrinelli dell'Accademia dei Lincei nel 2001, la Targa Piazzi dell'INAF/MIUR nel 2002, il premio Balzan della Fondazione Balzan, insieme ad Andrew Lange, nel 2006. È stato coordinatore italiano degli esperimenti internazionali Archeops e MAXIMA sulla radiazione cosmica di fondo. È "co-investigator" dell'*High Frequency Instrument* sul satellite Planck dell'Agenzia Spaziale Europea. È stato membro dell'*Astronomy Working Group* dell'Agenzia Spaziale Europea (2002–2004) e coordinatore dello *Studio su Tematiche e Modelli*

in Cosmologia e Fisica Fondamentale dallo Spazio dell’Agenzia Spaziale Italiana (2003–2004) ed è uno degli editori delle riviste internazionali *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* e *Memorie della Società Astronomica Italiana*.

Silvia Masi è nata a Firenze il 29 maggio 1958. È sposata con Paolo de Bernardis, con cui ha avuto un figlio nel 1993. Si è laureata in Fisica (con lode) nel 1982 e ha conseguito il dottorato di Ricerca in Fisica nel 1987. Ha avuto una posizione di ruolo come “funzionario tecnico” a partire dal 1989 e come “ricercatore universitario” dal 1991, presso il Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza” dove tiene i corsi di “Laboratorio di Elettromagnetismo” e di “Metodi dell’Astrofisica Spaziale” per il corso di laurea in Fisica e Astrofisica. L’interesse di ricerca è per l’Astrofisica Osservativa nelle bande del Lontano Infrarosso e Millimetrico. È autrice o co-autrice di più di 90 articoli su Riviste Internazionali con referee, e di più di 90 articoli su Atti di Conferenze. È membro e persona di riferimento della collaborazione BOOMERanG. È stata responsabile dello sviluppo del sistema criogenico e delle operazioni criogeniche nelle campagne di lancio e ha avuto la responsabilità dell’analisi dell’emissione Galattica nelle mappe realizzate dallo strumento. È “Scientific Associate” dello strumento HFI sul satellite Planck (ESA), responsabile della criogenia degli amplificatory a JFET e responsabile del sensore stellare dell’esperimento ARCHEOPS. Ha partecipato alle Spedizioni Nazionali in Antartide nel 1998, 2000, 2002, 2003, 2005, 2006 lavorando a BOOMERanG (a McMurdo) e a BRAIN (a Dome-C) ed è responsabile dell’esperimento su Pallone stratosferico OLIMPO, un telescopio di 2.6 m per cosmologia nel millimetrico e sub-millimetrico.

20.1 Pionieri del Fondo Cosmico

Non è possibile sintetizzare 25 anni di attività in un breve articolo. Ci proviamo ricordando le attività nelle quale siamo stati maggiormente coinvolti: 25 anni di grandi attese, grandi delusioni, qualche successo e tanto lavoro sperimentale, sempre in collaborazione con un indimenticabile Scienziato: Francesco Melchiorri.

Abbiamo incontrato Francesco Melchiorri per la prima volta nel 1979 all’Università di Firenze, come studenti del corso di Laurea in Fisica. All’epoca Francesco svolgeva la sua attività di ricerca presso l’Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche (IROE) del CNR di Firenze. Il suo piccolo gruppo di ricerca era composto da Francesco, Bianca Olivo Melchiorri, Enzo

Natale e Roberto Fabbri (e fino a pochi anni prima, anche da Giorgio Dal'Oglio), e stava preparando un esperimento per misurare l'anisotropia del fondo cosmico a scale intermedie [5].¹

All'epoca il fondo cosmico a microonde era ancora un continente esotico, che offriva il fascino dell'ignoto ai pochi esploratori che nel mondo tentavano di esplorarlo.

Lo spettro del fondo a microonde era stato misurato con radiometri coerenti nella regione delle basse frequenze (Rayleigh–Jeans) e solo pochi anni prima il gruppo di Francesco aveva dimostrato, osservando dalla Testa Grigia (sopra Cervinia) con un ricevitore bolometrico, che a frequenze intorno a 300 GHz lo spettro del fondo a microonde non era più consistente con una legge di Rayleigh–Jeans, implicando una bassa temperatura ed una alta emissività della sorgente [1]. Comunque a quell'epoca non era ancora chiaro se si trattasse di un corpo nero o di un corpo grigio, ed era ancora abbastanza incerta la natura fisica del fondo a microonde. Il gruppo di Paul Richards a Berkeley stava ancora preparando il suo esperimento su pallone, con uno spettrometro a trasformata di Fourier, che avrebbe dimostrato la natura approssimativamente planckiana del fondo a microonde [2]. L'esperimento FIRAS su COBE, che nel 1990 ha prodotto probabilmente la misura più importante del secolo per la cosmologia, misurando lo spettro del fondo cosmico a microonde con precisione di una parte su 10000 [3], era ancora una vaga idea di cui si doveva investigare la fattibilità, e le esperienze di Francesco e quelle di Paul Richards sarebbero state fondamentali in questo contesto.

L'unica anisotropia del fondo cosmico conosciuta era quella di dipolo, dovuta al moto della Terra rispetto alla materia lontana che genera il fondo a microonde. Questa era stata misurata con esperimenti su aereo e su pallone, anche dal gruppo di Francesco Melchiorri [4]. Il piccolo segnale di quadrupolo era ancora molto incerto, ed il gruppo di Firenze aveva anche ottenuto con un esperimento da aereo degli ottimi limiti superiori all'anisotropia del fondo a scale intermedie [5] e stava lavorando sull'analisi dei dati a scala del grado prodotti dall'esperimento su pallone [6].

Ma la cosa più strabiliante è che il gruppo di Firenze aveva già tentato un esperimento di misura della polarizzazione del fondo a microonde. Oggi, circa trenta anni dopo, la misura della polarizzazione rappresenta la fron-

¹Si veda il colloquio di Francesco Melchiorri con Luisa Bonolis nel volume *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero*, Marsilio 2003.

tiera dello studio sperimentale del fondo a microonde. Ma già Martin Rees nel 1968 aveva notato che se l'universo alla ricombinazione non è perfettamente isotropo, i fotoni del fondo a microonde devono essere leggermente polarizzati, come deve succedere per ogni diffusione Thomson anisotropa [7]. Osservare davvero la polarizzazione del fondo a microonde sarebbe stata una conferma indipendente della correttezza del processo fisico che avviene nell'universo primordiale e, in fondo, di tutta la teoria del Big Bang caldo per l'origine del fondo a microonde. Sarebbe stata poi una evidenza per una leggera anisotropia dell'universo (all'epoca studiata in termini di universi di Bianchi), E così il gruppo di Francesco Melchiorri costruì negli anni 70 un polarimetro millimetrico da far volare su pallone stratosferico, che fu lanciato nel 1974. Come spesso accade il progresso della scienza non è mai lineare. Brans aveva pubblicato un lavoro che sosteneva che i vettori di polarizzazione dei fotoni si sarebbero modificati e mescolati nel lungo viaggio dall'epoca della ricombinazione fino a oggi, annullando così la polarizzazione iniziale [8]. Toccò a Roberto Fabbri e al gruppo di Firenze dimostrare che il ragionamento di Brans era sbagliato, riportando l'attenzione dei cosmologi sulle proprietà di polarizzazione del fondo a microonde [9]. L'esperimento utilizzava un polarizzatore rotante come analizzatore della radiazione, e permise di ottenere un limite superiore dell'ordine di 10^{-4} per il grado di polarizzazione del fondo a microonde.

Per completare il quadro va anche detto che, all'epoca in cui abbiamo incontrato Francesco per la prima volta, i rivelatori che si usavano (bolometri raffreddati a 1.6 K) erano almeno due ordini di grandezza meno sensibili di quelli che abbiamo a disposizione oggi. Il che vuol dire che ciò che si può misurare in un'ora oggi avrebbe richiesto diecimila ore di integrazione all'epoca! L'automatizzazione degli esperimenti era ancora molto parziale e approssimativa, e la raccolta dei dati in forma elettronica molto poco diffusa.

Infine, era ben diversa la modalità di circolazione delle idee e dei risultati scientifici: non c'era internet, cominciava solo allora a diffondersi in Italia la posta elettronica, ed i preprint circolavano per posta. L'arrivo di un nuovo numero di *Physical Review* o dell'*Astrophysical Journal* in biblioteca era un evento ed una occasione per studiare nuovi risultati e discutere di nuove idee.

Eravamo studenti del corso di Elettronica del prof. Guglielmo Ventura, e svolgevamo una esperienza di laboratorio negli stessi locali di Via Leone

Pancaldo che ospitavano il Gruppo Infrarosso di Alberto Bonetti e di Francesco Melchiorri. Un giorno, Francesco si fermò ad osservare quello che avevamo fatto (un sistema per eseguire misure di funzione di trasferimento e stamparle con un registratore a carta). Si discusse un po' sulla stabilità del nostro circuito, e poi Francesco ci disse: "Se volete vedere un vero esperimento, perchè non venite a Trapani tra pochi mesi, quando prepariamo il nostro esperimento su pallone per il fondo a microonde?". Non avevamo mai sentito parlare di palloni stratosferici ed avevamo un'idea molto vaga di cosa fosse il fondo a microonde. Ma la breve spiegazione che ce ne dette Francesco accese il nostro entusiasmo. Il nostro destino era segnato.

20.2 I voli di pallone da Trapani

Così nel luglio 1980 arrivammo in moto alla base di Milo: un aeroporto militare abbandonato, nel quale si erano letteralmente accampati i tecnici ed i ricercatori del Servizio Attività Spaziali del CNR. Durante la campagna, che durava un paio di mesi, dalla vecchia pista venivano lanciati, in collaborazione con l'équipe di Armand Soubrier del CNES, due o tre payload transmediterranei. Volando dalla Sicilia alla Spagna, questi garantivano almeno 20 ore di osservazioni in stratosfera. Una opportunità imperdibile per i gruppi di ricerca in astronomia X, gamma e infrarossa, che, a causa dell'opacità atmosferica, potevano svolgere le loro osservazioni solo al di fuori dell'atmosfera terrestre.



Figura 20.1: Lancio dell'esperimento ULISSE da Trapani, nel 1980 e schema dello strumento.

Tanta astrofisica italiana successiva, di altissimo livello, specialmente in

astronomia X, gamma e infrarossa, ha le sue radici in queste esperienze su pallone svolte da Trapani negli anni '70-'80.

Durante la campagna di lancio si alternavano momenti di lavoro duro per approntare l'esperimento in tempo, momenti di studio, organizzazione semi-militare e totale disorganizzazione, scherzi indimenticabili e discussioni scientifiche illuminanti. Un mondo fatto di personaggi e situazioni per noi nuove e interessantissime.

Lo strumento del gruppo di Firenze (Fig. 1.1) era molto più semplice di quelli che si usano oggi per studiare l'anisotropia del fondo a microonde, ma conteneva già la maggior parte dei sottosistemi fondamentali: rivelatori bolometrici raffreddati criogenicamente (a 1.6 K); due canali indipendenti, uno a bassa frequenza ed uno ad alta frequenza, per separare segnale cosmologico e disturbo galattico; modulazione angolare a scala di 6 gradi ottenuta facendo oscillare uno specchio. Scansionava semplicemente il cielo seguendo la rotazione del pallone, e la direzione di osservazione era misurata grazie ad un magnetometro. I dati erano trasmessi analogicamente a terra, registrati su nastri magnetici analogici, e stampati su un registratore a carta. L'analisi dei dati si faceva a mano, con l'aiuto di un calcolatore tascabile. Solo molti anni dopo digitalizzammo i dati e li elaborammo usando un computer mainframe. E solo 12 anni più tardi pubblicammo i risultati, quando, grazie ai dati dell'esperimento IRAS, fu possibile rimuovere la contaminazione della polvere interstellare.

In quei due mesi a Trapani imparammo da Francesco, Bianca, Enzo, che cos'era un isotropometro da pallone stratosferico, e quali tecniche criogeniche, ottiche, elettroniche, meccaniche si usassero per farlo funzionare. Dal gruppo di supporto degli istituti CNR imparammo una enorme quantità di tecniche e trucchi del mestiere dei palloni stratosferici, la controparte povera ma efficiente delle attività spaziali. Ma soprattutto cominciammo a capire quale meravigliosa sonda dell'universo primordiale la Natura ci mettesse a disposizione col fondo cosmico a microonde.

Tornammo a Firenze dopo un indimenticabile viaggio a tappe insieme a Francesco e alla sua famiglia, e ci reimmergemmo con entusiasmo nella preparazione degli ultimi esami. Nel frattempo, Francesco fu chiamato come Professore Ordinario all'Università di Roma La Sapienza. Ci rivedemmo nell'autunno 1980, Francesco ci invitò a Roma per la tesi, e ci propose due tesi molto originali : sulle fluttuazioni quantistiche del fondo a microonde la prima, sulla polarizzazione del fondo a microonde la seconda. Ci propo-

se anche di ospitarci. Accettammo subito, con grande entusiasmo e con la giusta dose di incoscienza.

A Roma lavorammo intensamente nel nuovo gruppo che Francesco stava formando. Oltre a Francesco e Bianca c'era Giorgio Dall'Oglio, che aveva lavorato nel gruppo di Francesco a Firenze e si era poi spostato a Roma all'Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNR. Le competenze di criogenia di Giorgio erano essenziali per lo sviluppo dei ricevitori bolometrici del gruppo. E Gianni Moreno, esperto di analisi dati, con cui passammo lunghi periodi ad analizzare i dati dei precedenti esperimenti su pallone, imparando ad usare i primi "terminali alfanumerici" e le "memorie di massa" elettroniche dell'UNIVAC (come studenti, a Firenze avevamo usato solo le schede perforate, sia per i programmi che per i dati). Completavano il gruppo altri due laureandi, Cecilia Ceccarelli e Luca Pietranera, con cui condividemmo molto lavoro di laboratorio, e che si adoperarono molto per introdurre noi, "etruschi" appena trasferiti, alle gioie di Roma e dei dintorni.



Figura 20.2: L'esperimento di misura delle fluttuazioni quantistiche del fondo a microonde: secondo lancio dell'esperimento da Trapani, nel 1984. A destra: schema dello strumento.

L'esperimento sul rumore del fondo a microonde (Fig. 1.2) fu per noi una esperienza formativa fantastica. Andare a studiare la statistica dei fotoni del fondo a microonde significava sondare la natura ultima della radiazione stessa, ed associando questa misura a quelle di spettro si poteva far luce in modo originale e indipendente all'annosa questione sulla natura di corpo nero o corpo grigio della radiazione cosmica [10]. La configurazione dell'esperimento, con due rivelatori bolometrici che osservavano la stessa radiazione incidente tramite un beamsplitter, ci dette modo di riflettere in modo approfondito sulle proprietà delle fluttuazioni della radiazione di

corpo nero, e sul dualismo corpuscolare ondulatorio della radiazione. L'esperimento era molto ambizioso, e per realizzarlo era necessario utilizzare i migliori rivelatori presenti all'epoca (bolometri raffreddati a 0.3 K), immergerli in un ambiente a bassissimo fondo radiativo (raffreddando con elio liquido tutto il sistema, compreso il telescopio, e portandolo a quota di pallone stratosferico), e poi eseguire delle scansioni in elevazione per separare il contributo di fluttuazioni dell'emissione atmosferica residua da quello delle fluttuazioni del fondo a microonde. L'esperimento venne costruito in poco più di un anno, e nel luglio 1982 il gruppo era a Trapani per l'integrazione ed il lancio. Fu lanciato l'8 agosto. Il nastro contenente i dati dei due rivelatori, registrati a bordo su un registratore audio a nastro, fu riportato in Italia ai primi di settembre, e l'analisi fu effettuata risentendo il nastro e correlando i segnali dei due rivelatori tramite un correlatore analogico hardware. Francesco, invitato a parlare dei risultati di anisotropia del fondo a 3 K alla conferenza dell'International Astronomical Union (IAU) a Creta, ci cedette 15 minuti del suo tempo per riportare i risultati preliminari dell'esperimento di rumore [11]. La cosa suscitò un certo interesse, perchè l'approccio era molto originale, e nessuno si aspettava, nella comunità internazionale, un esperimento italiano di questo genere. Purtroppo la sensibilità dei rivelatori utilizzati non era ancora sufficiente per estrarre il segnale correlato, dovuto ai fotoni CMB Cosmic Microwave Background, dal rumore, ed il risultato finale fu un limite superiore alle fluttuazioni della CMB corrispondente a quelle di un corpo nero a 3.1 K. Solo molti anni dopo divennero disponibili rivelatori in cui il rumore intrinseco era confrontabile o inferiore a quello di un corpo nero a 3 K. Ma a quel punto, la natura di corpo nero del fondo a microonde era stata stabilita oltre ogni ragionevole dubbio. Discutemmo varie volte con Francesco sull'opportunità di ripetere l'esperimento con rivelatori più performanti. Per un certo periodo lo strumento recuperato da quella esperienza divenne un banco di lavoro per la misura di fluttuazioni quantistiche della radiazione di corpo nero in laboratorio. Su queste attività sperimentali svolsero il lavoro di tesi di laurea Lucio Piccirillo prima, e Francesco Sylos Labini poi. Ma non tornammo più a fare la misura del rumore del fondo cosmico: altre problematiche, più attuali e produttive, erano sorte nel frattempo. Come successe varie volte in seguito, proponendo l'esperimento di rumore Francesco Melchiorri aveva anticipato i tempi, con una idea originale e affascinante. Talmente avanzata che la tecnica sperimentale non era ancora abbastanza evoluta per la sua

completa realizzazione.

Anche l'altra tesi, sulla polarizzazione del fondo cosmico, era estremamente avanzata. In collaborazione col gruppo di Lecce (Sergio Fonti e Armando Blanco), era stato sviluppato un polarimetro per la misura della polarizzazione a grandi scale angolari. Si cercava di evidenziare la polarizzazione globale determinata da una anisotropia di quadrupolo della CMB, prevista nei modelli anisotropi più semplici di universo (modelli di Bianchi) [12]. L'esperimento fu calibrato a Roma, e poi portato all'osservatorio di Campo Imperatore, per svolgere le misura nell'inverno 1981 [13]. Ma la sensibilità non era sufficiente. Ancora una volta l'esperimento precorreva troppo i tempi.



Figura 20.3: Attesa per la consegna del primo grande specchio primario leggero. Da sinistra: Francesco Melchiorri, Giorgio Dall'Oglio, Bianca Olivo-Melchiorri. A destra: Francesco “collauda” lo specchio appena ricevuto.

20.3 ARGO

Intorno al 1984 la comunità cosmologica cominciò a capire i meccanismi di formazione delle strutture cosmiche che producono anisotropia nel fondo a microonde a piccole e medie scale [14]. A Francesco era chiarissima la necessità di eseguire misure di anisotropia a piccole scale, tanto che aveva già avviato una collaborazione con Paul Boynton al radiotelescopio di Battelle (Seattle) per una misura dell'anisotropia a piccola scala.

Ma la sfida più interessante era la preparazione di un esperimento su pallone o nello spazio per la misura dell'anisotropia CMB. Solo un osservatorio spaziale, infatti, avrebbe potuto misurare l'anisotropia simultaneamente in diverse bande spettrali (altrimenti bloccate dall'atmosfera terrestre), riuscendo a distinguere in modo convincente i deboli segnali primordiali dall'emissione della nostra Galassia. Francesco iniziò così due programmi a lungo termine, uno su pallone e uno da satellite.

Già nel 1984 Francesco aveva acquistato una parabola leggera da 3 metri, che avrebbe dovuto essere un decente collettore di flusso fino a frequenze di 90 GHz (Fig. 1.3). Ma si decise di andare per gradi. Grazie all'amicizia con Gianfranco Marcon, Francesco ottenne a costi molto contenuti una parabola di qualità molto migliore (buona fino a 600 GHz) di 1.2 m di diametro, del peso di 35 Kg, che poteva essere utilizzato su pallone stratosferico. Era l'inizio del programma ARGO (Fig. 1.4), del quale fu affidata la responsabilità a Paolo de Bernardis.

Come tutti gli esperimenti da pallone ARGO è stata un'avventura, con alti e bassi (un primo volo fallito nel 1998 a Aire-Sur l'Adour (Francia) col CNES, poi un volo lanciato dal CNES in collaborazione con ASI a Trapani nel 1989, poi una campagna fallita in Australia nel 1992 (ancora gestita da ASI e CNES), nella quale rimanemmo più di un mese a Charleville con l'esperimento pronto ma con condizioni atmosferiche proibitive. Ed infine il volo con l'ASI nel 1993 da Trapani.

La collaborazione con il gruppo di Franco Scaramuzzi (all'ENEA di Frascati) per il sistema criogenico fu fondamentale. Sviluppammo un sistema criogenico affidabile per esperimenti su pallone [15] che sarebbe stato la base per il sistema criogenico di BOOMERanG [16, 17]. Basandoci sull'esperienza di Battelle [18], sviluppammo un modulatore a secondario oscillante [19], che sarebbe stato la base per il sistema di modulazione di Mito [20]. Marco De Petris, Massimo Gervasi, Roberto Maoli, Pasquale Palumbo, Luca Valenziano e diversi altri lavorarono alla loro tesi di laurea, guidati da Francesco, collaborando in laboratorio con Paolo e Silvia, sviluppando sottosistemi di ARGO [21]. I risultati delle osservazioni svolte durante i due voli da Trapani ci permisero di rivelare per la prima volta l'anisotropia del fondo cosmico a scale inferiori alle dimensioni dell'orizzonte alla ricombinazione [22, 23], e di dimostrare chiaramente che l'emissione della nostra galassia non disturbava molto le misure, almeno a 150 GHz e ad alte latitu-



Figura 20.4: La navicella dell'esperimento ARGO ad Aire Sur L'Adour (Francia) nel 1988. Da sinistra: Giancarlo Valmori, Maurizio Perciballi e Silvia Masi.

dini galattiche [24, 25]. Era ancora una misura di tipo statistico, il massimo che si potesse fare in un volo di pallone stratosferico di durata di 20 ore.

Paolo comunicò questi risultati al meeting di Capri, dove simultaneamente i gruppi di Berkeley e di Goddard presentarono risultati simili. Erano le prime detezioni statistiche di anisotropia e ci sentimmo protagonisti della competizione internazionale.

Per poter migliorare, e realizzare vere e proprie mappe del fondo a microonde, si doveva avere a disposizione una piattaforma spaziale di maggiore durata, e rivelatori più sensibili. Per questo Francesco iniziò una collaborazione con i colleghi Russi per lanciare nello spazio un telescopio di dimensioni di circa 1 metro, simile ad ARGO. Il progetto, chiamato Aelita, era in collaborazione con l'IKI di Mosca (Sholomitski, Maslov, Soglasnova,



Figura 20.5: Il telescopio di ARGO a Trapani nel 1993. Da sinistra: Silvia Masi, Antonella De Luca, Michele Epifani, Luca Amicone, Marco De Petris, Paolo de Bernardis.

Sunyaev, Galeev, Strukov,...). Il progetto iniziò con un protocollo di collaborazione ratificato a Mosca nel marzo 1989, ma non ricevette supporto in Italia dall'Agenzia Spaziale Nazionale, che ratificò un certo numero di programmi in collaborazione bilaterale con Mosca, ma non Aelita. Eppure il progetto precorreva quanto sarebbe stato sviluppato poi per il satellite Planck dell'ESA.

La collaborazione con il gruppo di Gennadii Sholomitski e Vera Soglasnova invece continuò, e nel 1990 ci trovammo, insieme a Maurizio Perciballi, nella stazione di alta quota di Shorbulak, in Pamir, per caratterizzare il sito per l'astronomia submillimetrica. Il sito, lungo la via della seta, a 4500 m di quota, era fantastico. Nel mezzo di un enorme altopiano, circondato da picchi di più 6000 m, sui quali si addensavano le perturbazioni atmosferiche, lasciando libera la zona centrale. L'atmosfera, sottile e fredda, aveva

proprietà di trasmissione e stabilità eccellenti. Condizioni quindi molto favorevoli all'installazione di un telescopio da 2.6 m che il gruppo di Francesco stava preparando. Ma il collasso dell'Unione Sovietica cambiò le cose. La gestione del sito passò dall'osservatorio di Pulkovo (San Pietroburgo) all'accademia delle scienze del Tadjikistan, che non ritenne opportuno continuare questa attività. Si decise allora di installare il telescopio alla Testa Grigia, sulle Alpi sopra a Cervinia, dove andammo con Paolo Calisse a fare le prime misure di caratterizzazione del sito con un isotropometro a tre campi. Era l'inizio dell'esperimento MITO.

20.4 BOOMERanG

La necessità di una osservazione dallo spazio rimaneva. Nel 1988 avevamo visitato i gruppi di Berkeley di Paul Richards e George Smoot, durante una conferenza sulla cosmologia. Avevamo presentato ARGO, ed il gruppo di Berkeley aveva presentato MAX, un analogo telescopio su pallone dedicato alla CMB. Iniziammo così contatti regolari, finché nel 1992, quando si venne a sapere della possibilità di svolgere voli di pallone stratosferico a lunga durata intorno al Polo Sud, invitammo i colleghi americani ad unire le forze per realizzare una missione congiunta. Con un volo di più di 200 ore avremmo potuto realizzare una vera e propria mappa del fondo a microonde, ed avremmo avuto tutto il tempo necessario a svolgere test di effetti sistematici molto dettagliati. La decisione venne presa durante una cena al Consolato d'Abruzzo, a Roma, nel 1992. Francesco decise che Paolo avrebbe dovuto coordinare la parte italiana, mentre Paul Richards decise che Andrew Lange sarebbe stato il coordinatore della parte Americana. Poco più avanti Silvia inventò l'acronimo BOOMERanG (Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics). Il nome si ispirava alla traiettoria circumpolare, che riporta l'esperimento nelle vicinanze del luogo di lancio. In realtà onorava un anonimo aborigeno australiano, che durante la fallimentare campagna di ARGO a Charleville ci aveva suggerito di usare un nome più fortunato, quale boomerang.

Le proposte per BOOMERanG vennero subito rifiutate, sia in Italia che in USA. Fu storica una frase di Andrew Lange: "A new experiment of this kind is like falling in love. There is no way anybody can stop it...". Infatti insistemmo. Francesco riuscì ad ottenere direttamente dal Rettore de La Sapienza (prof. Giorgio Tecce) un fondo speciale per l'acquisto dello

specchio primario e dello specchio di riserva. Gli specchi — fuori asse da 120 cm — vennero costruiti con la solita maestria da Marcon, a San Donà di Piave. Costruimmo in officina, in “economia” la maggior parte dei sistemi criogenici ed elettronici, e riuscimmo a fare la nostra parte compensando con il nostro lavoro il budget molto ridotto che ci fu poi assegnato da ASI e PNRA.

Per tutta la sua durata (più che decennale), Francesco è stato un grande fautore di BOOMERanG. Individuò subito il problema degli impulsi generati nei rivelatori bolometrici dai raggi cosmici, il cui flusso è molto più elevato nella stratosfera polare che a latitudini temperate. Propose un assorbitore bucato per ridurre la sezione d’urto del bolometro. In modo analogo il gruppo di Berkeley con Phil Mauskopf sviluppò un assorbitore costituito da una singola fibra di carbonio, poi da più fibre incrociate, fino ad arrivare agli stupendi assorbitori a ragnatela [26], costruiti nella facility di micromeccanica che sono divenuti oggi lo standard per i bolometri più sensibili, usati su BOOMERanG, MAXIMA, Archeops, Planck-HFI. Una evoluzione enorme a partire dall’intuizione iniziale di Francesco!

Per noi BOOMERanG è stata l’avventura di una vita, iniziata nel 1992 e non ancora finita. Riuscimmo a coinvolgere gli altri gruppi italiani che avevano collaborato ad ARGO. Andrea Bosacaleri, dell’IROE-CNR di Firenze (ora IFAC-CNR) con entusiasmo si occupò del sistema di controllo d’assetto, con Paolo ed Enzo Pascale (uno dei primi laureandi di Paolo) che contribuirono con una camera CCD per la ricostruzione dei campi stellari, sia per BOOMERanG che per MAXIMA. Franco Scaramuzzi, Lorenzo Martinis, Pietro Cardoni del gruppo criogenico dell’ENEA di Frascati, con Silvia — che ci si dedicò a tempo pieno e con grandissimo entusiasmo ed incessante dedizione — ed i laureandi Andrea Raccanelli prima, e Francesco Piacentini poi, realizzarono il sofisticato sistema criogenico a lunga durata. Questo è stato uno dei punti di forza di BOOMERanG, capace di raffreddare sia i rivelatori (realizzati a Caltech) che il sistema ottico interno (realizzato a Roma da Paolo con il laureando Massimiliano Giacometti), per un totale di più di 60 litri raffreddati a meno di 2 Kelvin. Marcon risolse la sfida tecnologica del primario fuori asse con geniali metodi artigianali. Tanto che il collega canadese Barth Netterfield, dopo una visita a S. Donà esclamò: “He is an artist!”.

La realizzazione di questi sistemi e l’integrazione degli stessi con le parti realizzate a Caltech riservarono molte sorprese. Nonostante i ritmi di lavo-

ro infernali che tutti ci imponemmo, sia in Italia che nelle molte missioni a Caltech, i tempi di realizzazione furono più o meno doppi del previsto. Ma all'inizio del 1997 eravamo finalmente a Caltech per l'integrazione finale dello strumento. Di quel periodo ricordiamo molto bene le lunghe giornate passate a calibrare lo strumento nell'high bay, le incursioni notturne nell'officina del Physics Department a rilavorare parti del piano focale o del criostato, le lunghe ore di brain-storming sui problemi più disparati, sempre con Phil Mausekopf, Brendan Crill, Barth Netterfield, Andrew Lange. Lo strumento fu spedito in Texas in primavera per il volo di qualifica da effettuarsi in agosto. Nei primi test in camera climatica qualche sottosistema fallì, poi alcune perdite impreviste nella strumentazione accessoria durante i lunghi test notturni provocarono la formazione di tappi di aria solida nel criostato. . . ma avemmo la grinta e la forza per trovare velocemente le soluzioni giuste. Il primo lancio (agosto 1997) fallì miseramente a causa di una perdita nel pallone. La NASA-NSBF ci offrì una seconda occasione di volo, ma solo entro i dieci giorni successivi che rimanevano prima della chiusura della campagna. La resurrezione del payload, che era finito in un laghetto, fu una impresa epica, con un lavoro certosino di pulizia delle schede dell'elettronica, di mantenimento del criostato (che nonostante le molte ore in cui il payload era rimasto coricato aveva mantenuto elio liquido al suo interno) e di test di tutti i sottosistemi. Ma ci riuscimmo entro i termini, e nel secondo volo l'esperimento arrivò in stratosfera, raccogliendo dati che per la prima volta ci permisero di evidenziare un picco nello spettro di potenza delle anisotropie CMB. Rendemmo pubblico il risultato dell'analisi nel 1999, quasi contemporaneamente all'esperimento TOCO di Princeton che, con un telescopio e ricevitori coerenti operanti dalle Ande aveva ottenuto risultati molto simili. Si delineava chiaramente la possibilità di misurare la geometria dell'universo attraverso le anisotropie del fondo cosmico.

Dopo il volo di test in Texas spendemmo tutte le nostre energie per riuscire a partecipare alla campagna Antartica di fine 1998, realizzando il nuovo piano focale e riparando quanto si era danneggiato nel volo del 1997, e migliorando i sistemi di controllo d'assetto e controllo della criogenia, e le procedure di test e calibrazione. Il gruppo BOOMERanG, costituito da una decina di italiani e una decina di americani, partecipò alla spedizione in Antartide in scaglioni successivi dall'ottobre 1998 a gennaio 1999. Noi rimanemmo in Antartide circa 3 mesi, lavorando presso il laboratorio di Willy Field, sul mare ghiacciato a 18 km dalla base di McMurdo. Silvia



Figura 20.6: Silvia Masi e Paolo de Bernardis in Antartide.

aveva la responsabilità delle operazioni criogeniche, Paolo il coordinamento delle calibrazioni e dell'elettronica di controllo. Riassemblammo la navicella e tutti i sottosistemi, calibrandoli e interfacciandoli con il sistema di navigazione a lunga durata della NASA-NSBF. Per gli ultimi sottosistemi, quelli che non avevamo provato nel volo di test o che avevamo dovuto modificare a seguito di quella esperienza, fu una corsa contro il tempo. Una occasione di volo circumpolare in Antartide non si può perdere o rimandare all'anno successivo. Per cui lavorammo in turni che coprivano le 24 ore, aiutati anche dal fatto che la presenza continua del sole aveva confuso il normale ritmo biologico veglia-sonno. Riuscimmo ad integrare gli ultimissimi rivelatori prodotti a Catech, il nuovo sensore solare, il sistema di pressurizzazione dell'azoto liquido, la camera CCD per il riconoscimento dei campi stellari e la ricostruzione accurata dell'assetto della navicella e molte altre cose che, approntate all'ultimo momento, dovevamo migliorare

sensibilmente le prestazioni del payload. Che venne lanciato, finalmente, il 29 dicembre 1998, e rimase in quota 11 giorni, circumnavigando il continente ad una latitudine di circa -78 gradi e ad una quota media di 38 km. Lo strumento funzionava bene, accendendo il nostro entusiasmo con le tracce estremamente costanti di tutte le temperature del sistema criogenico, e tutte le volte che scansionando una sorgente Galattica riuscivamo a vedere un segnale pulito, senza bisogno di alcuna elaborazione. Phil Mauskopf ricavò in tempo reale una mappa del piano galattico da poche ore di misura: era la prima volta che a 150 GHz si vedeva la controparte delle sorgenti galattiche studiate nel lontano infrarosso dal satellite IRAS 14 anni prima. Dopo 11 giorni l'esperimento, spinto dal vento stratosferico, era tornato sulla verticale della nostra base, a 37 km di quota. Lo potevamo vedere ad occhio nudo: l'enorme pallone, grande come il Colosseo, appariva come un minuscolo cerchietto bianco nel terso cielo Antartico. Seguimmo con un binocolo e con trepidazione la sequenza di eventi successiva alla separazione del payload dal pallone, e la sua caduta, frenata da un grande paracadute, fino a scomparire dietro White Island. Ma il luogo d' impatto era così vicino che fu possibile a Paolo e Tom Montroy arrivarci in elicottero poche ore dopo l'impatto, per mettere in sicurezza il criostato e recuperare l'hard disk con i dati. Con religiosa attenzione, poche ore dopo la fine del volo, stavamo già copiando i dati su diversi supporti per distribuirli ai diversi laboratori nei quali avremmo iniziato le attività di analisi. Silvia, Brendan Crill e Steven Peterzen, il responsabile NASA-NSBF dei voli, andarono a recuperare la navicella intera il giorno successivo. L'intero 1999 fu dedicato all'analisi dei dati, intensissima ed entusiasmante. Basta pensare che il segnale in ciascuno dei 100000 pixel osservati viene ottenuto da una procedura di massima verosimiglianza che consente di stimare il segnale più probabile dalle moltissime osservazioni di quel pixel e di quelli adiacenti, tenendo conto in modo ottimale delle caratteristiche del rumore dello strumento. Si tratta, tra le altre cose, di risolvere un sistema di molti milioni di equazioni e 100000 incognite, per realizzare le mappe, e di realizzare calcoli ancora più gravosi per studiare la distribuzione delle anisotropie CMB in funzione delle loro dimensioni angolari. Tutto questo richiese l'uso di potenti calcolatori e di nuovi collaboratori teorici che hanno svolto un lavoro di analisi rigoroso e meraviglioso. Nel giugno 1999, sette anni dopo la cena di Roma, avevamo le prime mappe di massima verosimiglianza del fondo cosmico a microonde CMB. Le portammo subito a far vedere a Francesco. France-

sco le guardò per almeno 10 minuti senza dire nulla. Stavamo finalmente osservando la delicata trama di debolissime fluttuazioni di temperatura alla cui misura Francesco aveva dedicato più di 30 anni di attività. E per la prima volta le fluttuazioni erano chiaramente visibili, ben al di sopra del rumore dei rivelatori, e si poteva vedere ad occhio la dimensione tipica dell'orizzonte acustico alla ricombinazione. Quelle mappe erano il risultato di decenni di lavoro di laboratorio estremamente duro, progetti, test, calibrizioni, limiti superiori e detezioni marginali. Disse semplicemente "Ce l'avete fatta!". Dopo un altro lungo silenzio volle sapere tutti i dettagli dell'analisi dati e delle calibrizioni, e fu particolarmente soddisfatto del fatto che avevamo usato il metodo di calibrizione basato sull'anisotropia di dipolo, un metodo che lui stesso aveva proposto molti anni prima [27, 28] e che oggi è diventato una procedura standard. Paolo presentò per la prima volta in pubblico le mappe di BOOMERanG a Tolosa, al meeting JENAM della Società Astronomica Europea di Tolosa (Settembre 1999). Con un forte impatto sul pubblico, di specialisti e non. Le stesse mappe, ed il primo spettro di potenza del fondo cosmico a microonde, in cui era evidente l'effetto delle oscillazioni del gas incandescente primordiale, vennero pubblicate su *Nature* il 28 Aprile 2000. In contemporanea Paolo e Andrew Lange tennero una conferenza stampa a Washington, agli Headquarters della NASA, spiegando ai giornalisti l'importanza di questo risultato, e Silvia rispose ai giornalisti italiani. Il risultato ebbe una notevole risonanza nell'ambiente scientifico, perchè finalmente si stimava con buona precisione la densità di massa-energia dell'Universo misurandone la curvatura, e sul grande pubblico, con la pubblicazione della mappa dell'Universo primordiale sulla maggior parte dei quotidiani. Ad oggi quell'articolo su *Nature* è stato citato da più di mille articoli specialistici. Quando, pochi mesi dopo, l'esperimento MAXIMA confermò pienamente i risultati di BOOMERanG, molti cosmologi cominciarono a parlare di Cosmologia di precisione. Un termine sicuramente adeguato, dato l'aumento della sensibilità delle misure. Raggiungere una accuratezza confrontabile alla precisione, invece, richiederà ancora l'impegno di generazioni di fisici sperimentali! L'analisi era tutt' altro che completa: avevamo utilizzato solo il 50% dei dati di uno dei 16 rivelatori! Nell'anno successivo ampliammo l'analisi utilizzando tutti i rivelatori e tutti i dati di ciascuno di essi, riuscendo a misurare anche le armoniche superiori della oscillazione del plasma primordiale, e migliorando la precisione nella determinazione della densità di massa-energia e degli

altri parametri cosmologici. Poi BOOMERanG fu modificato e lanciato ancora nel 2003, ottenendo nel luglio 2005 mappe estremamente dettagliate della anisotropia CMB ed una prima detezone della polarizzazione fatta con bolometri [29, 30, 31, 32, 33]. Francesco era già molto sofferente, ma apprezzò moltissimo soprattutto il lungo lavoro di Silvia con la descrizione della metodologia di misura e delle mappe ottenute. BOOMERang aveva dimostrato che i bolometri possono efficientemente misurare la polarizzazione del fondo cosmico: qualcosa che Francesco aveva iniziato 31 anni prima e aveva continuato a studiare inventando polarimetri sempre più accurati [34, 35, 36].

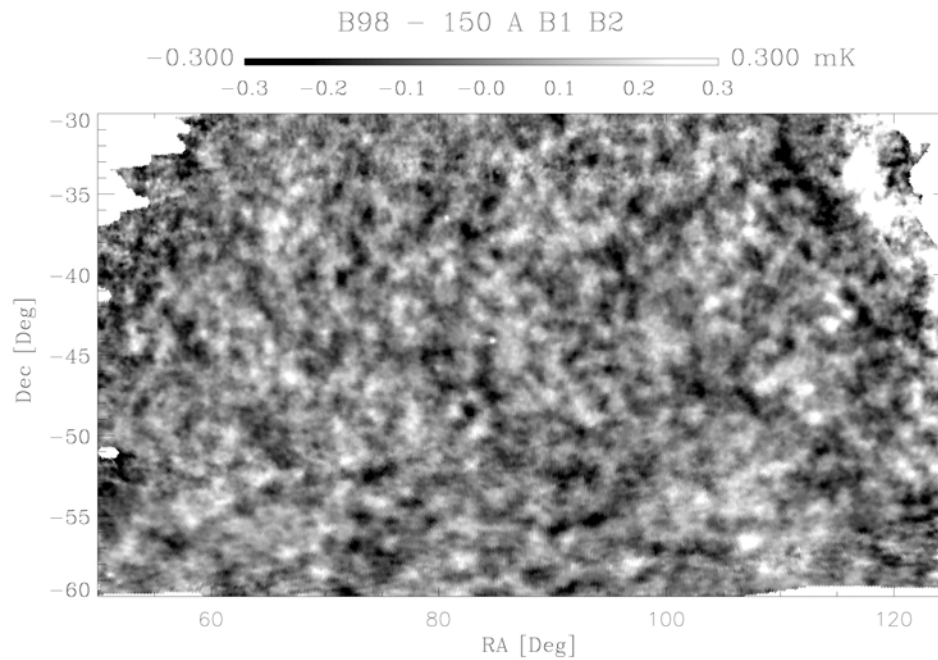


Figura 20.7: La prima mappa ottenuta (a giugno 1999) da uno dei rivelatori del volo 1998 di BOOMERanG. Le macchie più chiare e più scure rappresentano anisotropie del fondo cosmico a microonde, e hanno dimensioni apparenti di circa 1 grado. Queste sono le dimensioni aspettate per l'orizzonte all'epoca della ricombinazione, circa 380.000 anni dopo il Big Bang, 14 miliardi di anni fa.

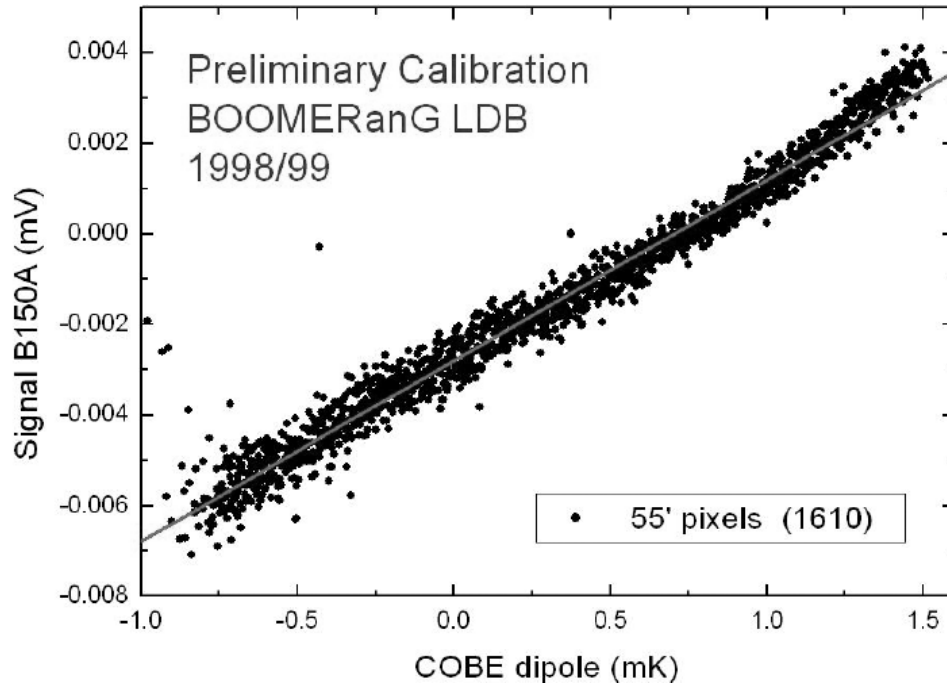


Figura 20.8: La correlazione tra dati di BOOMERanG filtrati per osservare i segnali a grande scala, e l'anisotropia di dipolo dovuta al moto della Terra rispetto alla materia lontana che ha diffuso il fondo a microonde.

20.5 Polarimetria dall'Antartide e dallo Spazio

Le misure del secondo volo di BOOMERanG, insieme a quelle degli esperimenti DASI, CBI, e WMAP, hanno dimostrato che il fondo cosmico a microonde è polarizzato. Ma nessuno ha ancora evidenziato la presenza dei cosiddetti modi-B: la componente rotazionale del campo di polarizzazione che dovrebbe essere stata generata nella ipotetica fase di inflazione cosmica, una infinitesima frazione di secondo dopo il Big Bang. La possibilità di indagare sperimentalmente un periodo così remoto ed iniziale dell'evoluzione dell'universo ha una attrazione potentissima per i cosmologi. E la possibilità di studiare la fisica ad energie che mai saranno raggiunte dagli acceleratori è affascinante per i fisici delle particelle. Molti gruppi nel mondo stanno sviluppando nuovi esperimenti dedicati alla misura di precisione della polarizzazione del fondo a microonde. Il segnale aspettato è talmente

piccolo che solo la consistenza di misure ottenute con metodi sperimentali ortogonali potrà essere abbastanza convincente. In questo senso abbiamo progettato un interferometro polarimetrico, BRAIN, che verrà installato a Dome-C, in Antartide. Uno strumento così fatto unisce la grande sensibilità dei rivelatori bolometrici alla pulizia delle misure interferometriche. Silvia ha presentato questa proposta al Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, che l'ha approvata prima per 2 anni, come studio preliminare, e poi per altri tre, come progetto completo. I fondi disponibili non sono moltissimi ma l'eccellenza del sito scelto (una base in quota, con temperatura media invernale sotto i -60 C) e la collaborazione sinergica con gruppi francesi e inglesi ci fanno ben sperare. I risultati delle misure svolte dall'esperimento preliminare saranno disponibili a breve, e sono estremamente incoraggianti. A termine più lungo, è stata svolta una lunga attività di studio, coordinata a livello nazionale da Paolo, e concentrata sulla realizzabilità di un esperimento definitivo realizzabile dallo spazio. ASI ha finanziato un primo studio nel 2004, e sta finalizzando il finanziamento di uno studio di fase A per una missione di questo tipo, eventualmente da far convergere in una proposta Europea nell'ambito del programma Cosmic Vision dell'Agenzia Spaziale Europea.

20.6 OLIMPO

La realizzazione di una survey CMB ad alta risoluzione sarebbe stata la continuazione logica delle attività di ARGONET2 e BOOMERANG e Francesco sottopose all'Agenzia Spaziale Italiana una proposta per una grande telescopio su pallone (2.6m) dedicato all'anisotropia all'inizio del 1990. Alla fine degli anni '80 aveva proposto il telescopio OASI in Antartide, sviluppato poi da Giorgio Dall'Oglio con un Programma Nazionale di Ricerche in Antartide. La proposta di un simile telescopio su pallone era il passo logicamente successivo: dallo spazio avremmo potuto utilizzare rivelatori ottimizzati per un fondo radiativo inferiore, e quindi ancora più sensibili. E avremmo potuto osservare anche nelle bande ad alta frequenza, precluse a terra dalla presenza dell'atmosfera terrestre. ASI finanziò questo progetto solo il primo anno. E Francesco, dopo molte battaglie, si dedicò a tempo pieno a MITO. Solo nel 2001 Silvia Masi sottopose ad ASI una nuova proposta per il grande telescopio da pallone OLIMPO: questa fu accettata, ma solo per due anni. Poi ASI si fermò di nuovo. OLIMPO è adesso

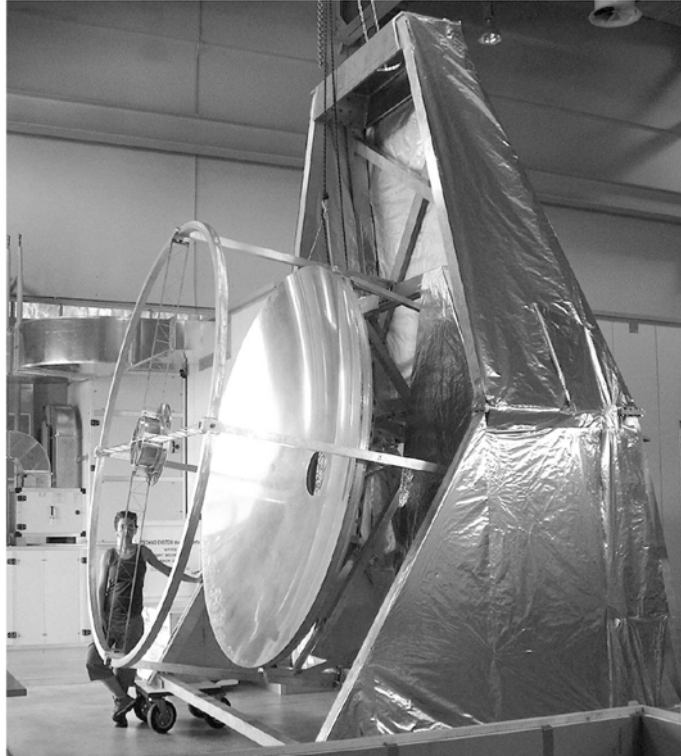


Figura 20.9: Il telescopio OLIMPO senza gli schermi per la radiazione dal sole e dalla terra. È visibile il grande telescopio Cassegrain da 1.6 m. Il payload alloggia quattro mosaici di rivelatori bolometrici per un totale di 130 rivelatori operanti simultaneamente. A sinistra, Lavinia Nati.

nuovamente nel piano Aerospaziale Nazionale 2006–2008, ma il contratto non è stato a tutt'oggi formalizzato. Eppure l'esperimento è in gran parte pronto, e promette di misurare con grande dettaglio la coda ad alti multipoli dell'anisotropia CMB, gli ammassi di galassie attraverso l'effetto Sunyaev-Zeldovich, il fondo submillimetrico delle galassie primordiali. Quando riusciremo a lanciarlo, sarà un altro frutto di quanto Francesco precocemente e appassionatamente aveva seminato.

Bibliografia

- [1] G. Dall'Oglio, B. Olivo Melchiorri, F. Melchiorri, V. Natale, P. Lombardini, Measurements of the Cosmic Background Radiation through the 1.0–1.4mm Atmospheric Window, *Phys. Rev. D.*, 13, 1187 (1976).
- [2] Woody D.P. and Richards P.L., *Ap. J.*, 248, 18 (1981).
- [3] Mather J. et al., *Ap. J. Lett.* 354, L37–L40 (1990).
- [4] R. Fabbri, I. Guidi, F. Melchiorri, V. Natale, CMB large scale anisotropies in the far infrared, *Phys. Rev. Letters* 44, 1563 (1980).
- [5] R. Fabbri, B. Olivo Melchiorri, F. Melchiorri, V. Natale, N. Caderni, K. Shivanandan, Search for the Intermediate Scale Anisotropy of the Cosmological Background Radiation, *Phys. Rev. D* 21, 2095 (1980).
- [6] F. Melchiorri, B. Olivo Melchiorri, C. Ceccarelli, L. Pietranera, Fluctuations in the Microwave Background at Intermediate Angular Scales, *Astrophys. J. Lett.* 250, L1 (1981).
- [7] Rees M., *Ap. J.*, 153 L1 (1968).
- [8] Brans C.H., *Ap. J.* 147, 76 (1967).
- [9] N. Caderni, R. Fabbri, B. Melchiorri, F. Melchiorri, V. Natale *Phys. Rev. D* 17, 1901 (1978).
- [10] P. de Bernardis, S. Masi, On the microwave background spectrum and noise, *Physics Letters* 118B, 333 (1982).
- [11] G. Dall'Oglio, P. de Bernardis, S. Masi, F. Melchiorri “Measurements of the 3 K cosmic background noise in the FIR”, 104 IAU Symposium: Early Evolution of the Universe and its Present Structure, a cura di G. Abell e G. Chincarini, 135 (1983).
- [12] P. de Bernardis, Previsioni teoriche della polarizzazione di fondo cosmico e sua distribuzione angolare, comunicazione al 67° congresso annuale della Società Italiana di Fisica, Pisa (1981).
- [13] A. Blanco, F. D' Alessandro, F. Melchiorri, B. Melchiorri, G. Dall'Oglio, P. de Bernardis, S. Masi, *A photopolarimeter for far infrared measurements*” Proceedings of the IEEE Conference on Millimetric and Submillimetric Waves, Miami (1981).
- [14] Vittorio N., and Silk J., *Ap. J.*, 285, L39 (1984).
- [15] Palumbo, P., Aquilini, E., Cardoni, P., de Bernardis, P., De Ninno, A., Martinis, L., Masi, S., Scaramuzzi, F., *Cryogenics* 34, 1001 (1994).
- [16] Masi, S., Aquilini, E., Cardoni, P., de Bernardis, P., Martinis, L., Raccanelli, A., Scaramuzzi, F., Sforza, D., *Cryogenics* 38, 319 (1998).
- [17] Masi, S., Cardoni, P., de Bernardis, P., Piacentini, F., Raccanelli, A., Scaramuzzi, F., *Cryogenics* 39, 217 (1999).
- [18] Radford, S. J. E., Boynton, P. E., Melchiorri, F., *Rev. Sci. Instr.* 61, 953 (1990).

- [19] de Bernardis, P., Masi, S., Perciballi, M., Romeo, G., *Infrared Physics* 29, 1005 (1989).
- [20] Mainella, G., de Bernardis, P., De Petris, M., Mandiello, A., Perciballi, M., Romeo, G., *Applied Optics* 35, 2246 (1996).
- [21] de Bernardis, P., Aquilini, E., Boscaleri, A., De Petris, M., Gervasi, M., Martinis, L., Masi, S., Natale, V., Palumbo, P., Scaramuzzi, F., Valenziano, L., *Astronomy and Astrophysics*, 271, 683 (1993).
- [22] de Bernardis, P., Amicone, L., De Luca, A., De Petris, M., Epifani, M., Gervasi, M., Guarini, G., Masi, S., Melchiorri, F., Natale, V., Boscaleri, A., Natali, G., Pedichini, F., *Ap. J. Lett.* 360, L31, (1990).
- [23] de Bernardis, P., Aquilini, E., Boscaleri, A., De Petris, M., D' Andreta, G., Gervasi, M., Kreysa, E., Martinis, L., Masi, S., Palumbo, P., Scaramuzzi, F., *Ap. J. Lett.* 422, L33, (1994).
- [24] Masi, S., Aquilini, E., Boscaleri, A., de Bernardis, P., De Petris, M., Gervasi, M., Martinis, L., Natale, V., Palumbo, P., Scaramuzzi, F., *Ap. J. Letters* 452, 253, (1995).
- [25] Masi, S., Aquilini, E., Boscaleri, A., de Bernardis, P., De Petris, M., Gervasi, M., Martinis, L., Scaramuzzi, F., *Ap. J. Letters* L47, 463, (1996).
- [26] Mauskopf, P. D., Bock, J. J., Del Castillo, H., Holzappel, W.L., Lange, A.E., *Applied Optics* 36, 4 (1997).
- [27] F. Melchiorri, G. Moreno, G. Dall'Oglio, B. Melchiorri, The Cosmic Background Radiation, *Proc. of 2nd ESO-CERN Symp. On Cosmology and Fundamental Physics*, a cura di Setti e Van Hove (1986), 89.
- [28] P. de Bernardis, G. De Troia, L. Miglio, *New Astronomy Reviews* 43, 281 (1999).
- [29] Masi, S., Ade, P.A.R., Bock, J.J., Bond, J.R., Borrill, J., *et al.*, *Astron. Astrophys.*, in press (astro-ph/0507509) (2005).
- [30] Jones, B., Ade, P.A.R., Bock, J.J., Bond, J.R., Borrill, J., *et al.* 2005, *Ap. J.* 647, 823, (astro-ph/0507494) (2005).
- [31] Piacentini, F., Ade, P.A.R., Bock, J.J., Bond, J.R., Borrill, J., *et al.*, *Ap. J.* 647, 833-839, (astro-ph/0507507) (2005).
- [32] Montroy, T., Ade, P.A.R., Bock, J. J., Bond, J.R., Borrill, J., *et al.* 2006, *Ap. J.*, 647, 813-822 (astro-ph/0507514).
- [33] Mac Tavish C., Ade, P. A. R., Bock, J. J., Bond, J. R., Borrill, J., *et al.*, *Ap. J.* 647, 799-812, (astro-ph/0507503) (2006).
- [34] F. Melchiorri, C. Montecchio, G. P. Pisano, e B. Melchiorri Olivo, Polarization of the Microwave Background: experiments, in *The Cosmic Microwave Background*, a cura di Lineweaver C. H., Bartlett J. G., Blanchard A., Signore M., Silk J., NATO ASI series 502, 409 (1997).
- [35] E. S. Battistelli, M. De Petris, L. Lamagna, R. Maoli, F. Melchiorri, E. Palladino, G. Savini, P.D. Mauskopf, A. Orlando, *SPIE conference proceedings Astronomical telescopes and instrumentation*, 2002, astro-ph/0209180.

20. *Paolo de Bernardis, Silvia Masi*

[36] A. Catalano, L. Conversi, S. De Gregori, M. De Petris, L. Lamagna, R. Maoli, G. Savini, E. S. Battistelli, A. Orlando, *New Astron.* 10, 79 (2004).

Indice dei nomi

- Überall, H., 290
- Abrahams, E., 519
Acerenza, F., 248
Adamovich, M.I., 295
Adams, J., 283
Ageno, M., 193
Ageno, M., 52, 53, 122, 132, 156, 193, 194, 201, 366, 369, 501
Agodi, E., 63
Alberigi Quaranta, A., 383
Alexandrov, Y.A., 295
Allen, J., 316, 319
Altarelli, M., 445, 450
Altieri, N., 45
Altshuler, B.L., 523, 525
Alvarez, L.W., 133
Amaldi, E., 1, 3–5, 7, 14, 15, 17–29, 33, 49–53, 56–60, 69, 72, 73, 80, 82, 83, 86, 87, 89, 91, 95–97, 101, 125, 145–147, 149, 152, 173, 176, 177, 184, 186, 191–193, 196, 197, 199, 201, 202, 206–208, 216, 217, 225, 235, 299, 317, 338, 346, 362, 364, 385, 386, 395, 398, 399, 401, 403, 404, 408, 420, 448, 461, 471, 474, 475, 479–481, 485, 491, 492, 502, 505, 507, 568, 571, 584
Amaldi, G., 20, 22, 26
Amaldi, U., 5, 133, 395, 547, 556
Amaldi, U. Sr., 14
Amendola, O., 570
Amerio, L., 101
Amit, D., 534
Amman, F., 264, 281, 371, 377–380, 424
Anderson, P. W., 523, 531
Angelucci, A., 364
Argan, C. G., 175
Argan, P. E., 152, 154, 162
Argan, P.E., 157, 158, 160
Armellini, G., 73
Aronov, A. G., 523
Aronov, A.G., 525
Artale, V., 486
Ascoli, U., 318, 326
Aspnes, D. E., 446, 447
Astbury, P., 346
Bachelet, F., 72
Baldereschi, A., 450
Baldo Ceolin, M., 350, 351
Ballario, C., 57, 197, 366, 480
Balzarotti, A., 444, 450, 451
Bancalari, M. A., 247
Bandiera, M., 90
Baracca, A., 371
Barbiellini, G., 289, 290, 377, 435
Barbieri, R., 293
Bardeen, J., 220, 444, 450, 503
Barkas, W. H., 569
Barloutaud, R., 429
Barone, A., 3, 4, 8, 33, 34
Baroni, A., 364
Baroni, G., 69, 365, 398, 567, 568, 572, 574, 584
Bassani, G. F., 235, 440, 442, 444–446, 450, 459

Bassi, D., 252
 Battaglia, M., 486
 Battimelli, G., 385, 388
 Becchi, C., 245
 Bednorz, G., 527
 Beenakker, J., 222
 Bei, A., 74
 Belli, B. M., 364
 Beltrametti, E., 245, 252
 Bendiscioli, G., 156–159
 Benedek, G., 239
 Beneventano, M., 312, 370, 472
 Benfatto, L., 520
 Bentivegna, S., 79
 Benzi, R., 489
 Berardo, R., 198
 Bergia, S., 371, 372, 388
 Berkelmann, K., 377
 Berlinguer, G., 380
 Berlinguer, L., 251
 Berné, A., 223
 Bernardi, A., 342
 Bernardini, C., 43, 49, 264, 274, 280,
 285, 397, 407, 555
 Bernardini, G., 6, 22, 24, 25, 29, 49–52,
 55, 80, 82, 83, 88, 95, 101–103,
 125, 366, 367, 369
 Berno, M., 342
 Bertola, F., 407
 Bertolini, B., 90
 Bertotti, B., 442
 Bethe, H., 100, 548
 Bianconi, A., 452, 462
 Biegeleisen, J. I., 219
 Bienfait, M., 243
 Bietti, A., 471, 472
 Bini, C., 297
 Bisi, V., 157, 158
 Bissiri, M., 461
 Bizzarri, R., 574
 Blackett, P., 156
 Blainpied, B., 377
 Blanco, A., 605
 Bloch, F., 20, 21, 148, 442, 548, 550
 Boato, G., 177, 181, 182, 193, 218, 224,
 230, 235, 238, 239, 243
 Bocciarelli, D., 38
 Boddy, P., 458
 Boffi, V., 325
 Bogolubov, N. N., 503
 Bohr, N., 179
 Bolla, G., 24, 28, 95, 96, 99, 102, 103,
 109, 116, 121
 Bolle, A., 148
 Bologna, G. F., 290
 Bologna, G.F., 289, 302, 377
 Bolognesi, , 441
 Bolta, J.M., 295
 Bompiani, E., 14, 364, 500
 Bonafede, M., 492
 Bonetti, A., 395, 400, 601
 Bonetti, E., 207
 Bonolis, L., 177, 387, 388
 Borgese, A., 545
 Borgia, B., 357
 Borlandi, F., 231–233
 Borsellino, A., 100, 217, 219, 223, 224,
 228, 230, 244, 246
 Boscaleri, A., 610
 Boschi, A., 319
 Boschi, E., 489
 Bournod, L., 283
 Bovet, D., 387
 Boyle, B., 447, 449
 Boynton, P., 605
 Brando, M., 545
 Brans, C., 600
 Brasini, L., 388
 Brattain, W., 444
 Bravo, L.M., 295
 Brenni, P., 248
 Brezin, E., 519
 Broglio, L., 401

Brunelli, B., 55, 307, 310, 316–318, 327, 328, 371
 Brunetti, R., 147
 Bruzzaniti, G., 248
 Budker, A.M., 376, 388
 Buontempo, U., 91
 Burhop, E., 575
 Buzzati Traverso, A., 300, 380

 Cabibbo, N., 383, 386, 543
 Cabrera, N., 239, 242
 Cacciapuoti, B. N., 22
 Cacciapuoti, B.N., 50, 51, 72, 180
 Caccioppoli, R., 43, 335, 336
 Caglioti, G., 61
 Caianiello, E. R., 88
 Caianiello, E., 369
 Caianiello, E. R., 337
 Caldirola, P., 145, 318
 Calogero, F., 97, 480, 545
 Caloi, P., 484
 Canepa, M., 251
 Cannizzaro, S., 250
 Cantarano, S., 400
 Cantelli, R., 452
 Cantini, P., 237–239, 243, 245, 251
 Cantoni, G., 48
 Capasso, R., 387
 Capizzi, M., 450, 451, 454, 457, 460, 462
 Capone, M., 520
 Cappelletti, V., 300, 387
 Capponi, C., 79
 Caprara, S., 520, 529
 Caputo, M., 492
 Carassa, F., 399, 402
 Cardillo, M., 237
 Cardona, M., 450
 Cardoni, P., 610
 Careri, G., 96, 174, 194–196, 200, 201, 203–205, 207, 216–218, 224, 229, 397, 448, 503, 504, 507, 534
 Carrara, N., 261, 264
 Carrassi, M., 217
 Carrelli, A., 44–48, 336, 379
 Cartacci, A.M., 294
 Carugno, G., 435
 Casale, R., 183
 Casanova, G., 219
 Caserta, A., 486
 Cassandro, M., 502, 534
 Castagnoli, C., 69, 84–87, 149, 365, 398, 400, 407, 568
 Castellani, C., 520–523, 529, 533, 534
 Castenuovo, G., 14
 Castillo, V., 295
 Catenacci, C., 95, 109, 118, 124, 125
 Cattoni, A., 282
 Cavallini, M., 238
 Ceccarelli, C., 603
 Ceccarelli, M., 339, 344
 Celli, V., 239
 Cennamo, F., 46, 47
 Ceradini, F., 428
 Cerdonio, M., 403, 404
 Cervasi, M., 364
 Chadwick, J., 17
 Chamberlain, O., 383, 569
 Chandrasekhar, S., 210, 212
 Chen, Y.-S., 458
 Chernyavsky, M.M., 295
 Chester, G. V., 506
 Chester, G. V., 504–506
 Chew, G., 371
 Chiaradia, P., 450, 451
 Chiarotti, G., 89, 235, 236, 440–442, 444, 445, 448–451
 Chiarotti, V., 343
 Chiozzotto, M., 122, 132
 Chu, T., 294
 Ciaffoni, O., 430
 Ciapetti, G., 430
 Ciccotti, G., 372, 534
 Cimino, A., 182, 201, 203, 205, 207, 208
 Cini, M., 372, 472–475, 480, 481, 502–504, 507

Cini–Castagnoli, G., 397
 Cinquini, S., 442
 Clozza, P., 266, 269
 Clusius, K., 202
 Cocco, M., 486
 Cocconi, G., 26, 101, 108, 109, 112, 116, 121
 Colella, R., 239
 Coluzza, C., 450
 Conforto, A.M., 400
 Conforto, G., 426, 545
 Conte, M., 162
 Conti, A., 294
 Conversi, 82
 Conversi, M., 23, 76, 89, 96, 101, 109, 110, 198, 200, 261, 262, 283, 400, 423–427, 429, 432, 575
 Cooper, L. N., 220, 444, 503
 Coppi, B., 307, 310, 327–331
 Corazza, G., 374, 381, 426, 555
 Corbino, O. M., 3, 33, 37
 Corbino, O.M., 19, 42, 45, 49
 Corinaldesi, E., 83, 196
 Cortellessa, G., 364
 Cortesi, C., 311
 Cortini, G., 87, 197, 338, 365, 384, 398, 568
 Cosmelli, C., 299
 Covello, A., 476
 Craig, H., 211–213, 215, 227, 251
 Crill, B., 611, 613
 Cromer, A., 384
 Curie, P., 5
 Cutolo, M., 46

 D’Agostino, S., 90, 385
 D’Angelo, N., 152, 154
 D’Eramo, M., 508
 Da Prato, G., 475, 479–481
 Dagliana, M.G., 294
 Dainese, B., 343
 Dall’Oglio, G., 599, 603, 617
 Dallaporta, A., 354, 357
 Dallaporta, N., 338, 351
 Dameri, M., 294
 Danesin, G., 385
 Davis, D.H., 577
 De Alfaro, V., 473
 De Angelis, A., 316, 318
 de Bernardis, P., 609
 De Franceschi, G., 556
 De Maria, M., 372, 385
 De Martinis, L., 610
 De Mauro, T., 380, 384
 De Pasquale, F., 505, 513
 De Paz, M., 223
 De Pedis, D., 297
 De Petris, M., 606
 De Rujula, A., 411
 De Salvo, R., 433
 De Simone, S., 426
 De Stefano, P., 545
 De Tollis, B., 543, 545–547, 555
 De Wire, J., 377
 De Zorzi, G., 297, 423, 432, 433
 Decaux, B., 215
 Del Signore, G., 444
 Del Sole, R., 451
 Dell’Antonio, G. F., 475, 478
 Dell’Antonio, G.F., 476, 478
 Di Biagio, A., 431
 Di Caporiacco, G., 294
 Di Castro, A., 496
 Di Cosimo, G., 297
 Di Domenico, A., 297, 434
 Di Giugno, G., 278, 375
 Di Lella, L., 424, 426
 Di Palo, L., 60
 Di Stefano, G., 377
 Di Vecchia, P., 546, 556
 Diambri Palazzi, G., 377, 423, 432, 433
 Diambri, G., 228, 264, 265
 Diotallevi, R., 573
 Dirac, P. A. M., 571

Domb, C., 518
 Dondi, M. G., 229, 252
 Doplicher, S., 478
 Drago, F., 556
 Drell, S., 375
 Duke, U. J., 239

 Eddington, A., 369
 Edwards, G., 211
 Egidì, A., 400, 424
 Einstein, A., 124, 132, 501
 Ellis, C.D., 17
 Emery, V. J., 530, 531
 Emiliani, C., 211
 Emiliani, V., 462
 Engelman, F., 327
 Enriques, L., 319, 321
 Enss, T., 520
 Etim, G. E., 545, 547
 Etim, G.E., 556, 560
 Evangelisti, F., 450–452, 455
 Eyring, H., 182

 Fabbri, R., 599, 600
 Fabiani, D., 375
 Fabri, E., 364
 Fabrizio, M., 520
 Fairbank, W., 403
 Fano, C., 366
 Fano, U., 364, 366
 Farkas, A., 182
 Farkas, L., 182
 Fasano, M., 70
 Fasella, P., 174
 Fea, G., 4, 8
 Federici, L., 429
 Feinberg, D., 521
 Felcher, G. P., 239
 Feld, B.T., 377
 Fermi, E., 3–7, 13–21, 26, 32–35, 45, 48,
 59, 95, 119, 123, 124, 132, 145,
 173, 192, 201, 209, 210, 212,
 213, 364, 387, 460, 502, 591
 Fermi, L., 213
 Ferrari, E., 365, 473
 Ferrer, L.M., 430
 Ferrero, M.I., 158
 Ferretti, B., 6, 24, 25, 51, 58, 74, 103,
 196, 198, 364, 366, 369
 Ferretti, M., 198, 366
 Ferro, R., 252
 Ferro-Luzzi, F., 515
 Ferroluzzi, M., 398
 Ferroluzzi, M., 432
 Feynman, R., 114, 174, 176, 503, 555
 Fichera, G., 471
 Fidecaro, G., 10, 54, 58, 197, 366
 Field, W., 611
 Fieschi, R., 223, 235, 442
 Filosofo, I., 357
 Finkel'stein, A. M., 524, 526
 Fiocco, G., 489, 492
 Fiorentini, M., 79
 Fiorini, E., 398
 Fiorini, P., 450
 Fisher, M. E., 506, 513, 514, 516, 519
 Flügge, S., 162
 Focaccia, G., 60
 Fonti, S., 605
 Forgacs, G., 520
 Forino, A., 294
 Forlani, F., 441
 Formigoni, N., 441
 Fortunato, G., 450
 Fröhlich, H., 174
 Franck, J., 210
 Franzinetti, C., 87, 472, 568
 Frassetto, R., 482–484
 Frautschi, S.C., 555
 Frisch, O.R., 290
 Frova, A., 227, 228, 446
 Fumi, F., 190, 191, 209, 220, 233, 440,
 445
 Furst, M., 132
 Galafassi, V. E., 442

Galilei, G., 15, 460
 Galison, P., 386
 Gallavotti, G., 534
 Gallinaro, G., 222, 227, 238
 Gamba, A., 223, 224, 228–231, 233
 Garibaldi, U., 238
 Garroni, L., 78, 79
 Gatti, E., 166, 439, 440
 Gatto, R., 96, 369, 397
 Gauzzi, P., 297
 Gell-Mann, M., 213, 348, 350
 Gentile, G. Jr, 99
 Georges, A., 521
 Gerassimov, S.G., 295
 Germano, F., 446
 Gervasi, M., 606
 Gessaroli, R., 294
 Gesuato, G., 343
 Ghigo, G., 262, 264, 265, 271, 274, 277, 374, 555
 Ghizzetti, A., 500
 Giacomelli, G., 572
 Giacometti, M., 610
 Giannini, M., 61
 Gigli Berzolari, A., 154, 157, 159, 217, 221, 400
 Giordani, F., 60, 366
 Giorgio, S., 263
 Gittelman, B., 377
 Giuliani, G., 177, 388
 Giulotto, L., 148, 149, 235, 441, 442
 Giunti, V., 74
 Glanchant, A., 243
 Glaser, D.A., 159, 160
 Glashow, S., 164
 Goepfert Mayer, M., 209
 Goldey, J., 446
 Gonella, L., 162
 Goodman, F., 239
 Goodstein, D., 240
 Gorenstein, P., 357
 Gozzini, A., 235, 427
 Grassano, U.M., 444, 450, 451
 Grassi Alessi, M., 461
 Gratton, E., 445
 Greco, M., 547, 556
 Green, K., 518
 Green, M., 513, 518, 519
 Greisen, K., 108
 Grilli, M., 520, 529
 Gronchi, G., 286
 Guaraldo, C., 384
 Guerra, F., 534
 Guerriero, L., 349, 355, 357
 Guidoni, P., 90, 384
 Gupta, S. N., 370
 Haïssinski, J., 278, 375, 376, 381
 Hamakawa, Y., 446, 447
 Hamilton, W., 403
 Handler, P., 444, 446, 447, 450
 Hansen, W.W., 148
 Harrick, J., 450
 Harrison, F. B., 132
 Harrison, F.B., 122
 Heilbron, J., 386
 Heisenberg, W., 47, 114, 124
 Heitler, W., 100, 114, 548
 Hellefssplass, M., 285
 Higon, E., 295
 Hofmann, H., 572
 Hofstadter, R., 123, 124, 133, 134, 372
 Holton, G., 386
 Hoshino, K., 578
 Hubbard, J., 521
 Hugenholtz, H., 505
 Hulse, A.R., 405
 Iandelli, A., 189, 190
 Ianniello, M. G., 385
 Iannuzzi, M., 321
 Iarocci, E., 414, 429
 Imbò, G., 337
 Imshennik, V., 411
 Infante, C., 383

Ippolito, F., 61, 318, 366
 Jaubert, M., 243
 Jean, M., 474, 475
 Joliot-Curie, I. e F., 18
 Joliot-Curie, I. e F., 18
 Jona Lasinio, G., 534
 Jona-Lasinio, G., 372, 477, 504–506, 510–512, 514, 515, 517, 518, 534
 Jones, L.W., 133
 Joos, P., 357
 Kadanoff, L.P., 510, 512, 513, 515, 517, 519
 Kallmann, H., 132, 133
 Kamerlingh Onnes, H., 222
 Kemmer, N., 100
 Kerst, D. W., 133
 Kerst, D.W., 100
 Kharlamov, S.P., 295
 Kim, Y., 109, 118
 Kivelson, S. A., 530, 531
 Knoepfel, H., 325
 Kogut, J., 514
 Kohn, W., 220
 Kotliar, G., 521
 Kragh, H., 386
 Kronig, R. de L., 14
 Kuusinen, J., 153
 Lüders, G., 369
 Labò, G., 76, 79
 Lacoste, F., 375
 Landau, L.D., 176, 219, 509
 Lange, A., 609, 611, 614
 Langsdorf, A., 152–154
 Lanzara, A., 462
 Larionova, V.G., 295
 Lattes, C. M., 110
 Lawrence, E. O., 179
 Lepri, F., 49, 50, 55, 58, 198–200, 365
 Leprince-Ringuet, L., 338
 Levi Setti, R., 346
 Levi, A., 238, 240–242, 252
 Levi-Civita, T., 14
 Levialdi, A., 444
 Levine, A., 321
 Libby, W., 209, 213
 Linhart, J., 316, 325, 369
 Littauer, R., 377
 Lo Surdo, A., 7, 8, 19, 22
 Lodi Rizzini, E., 159
 Lombardo Radice, L., 74, 90, 380
 Lorenzana, J., 520, 533
 Loria, A., 338
 Lory, J., 294
 Lovati, A., 54, 111, 152
 Lucci, F., 431
 Luccio, R., 384
 Lynton, E. A., 225
 Müller, A., 457
 Müller, K.A., 527, 530, 531
 Mafai, S., 88
 Magistrelli, F., 321, 367, 368
 Maiani, L., 384, 545
 Maiolo, F., 591
 Maisonnier, C., 325
 Majorana, E., 14, 44, 45, 47, 48, 385
 Maltese, G., 388
 Malvano, R., 224, 228
 Manacorda, M.A., 380
 Manfredini, A., 69, 80, 85–87, 338, 365, 398, 568
 Mann, T., 545
 Maoli, R., 606
 Marchionni, A., 294
 Marcon, G., 606, 610
 Marconero, R., 400, 403, 404
 Marenzana, M. P., 227
 Mariani, F., 54, 400, 492
 Marin, P., 278, 375
 Marini, P., 399
 Marra, A., 279, 280, 423
 Marshak, R.E., 346
 Marshall, J., 209

Martelli, C., 489
 Martelli, G., 262
 Martin, P., 519
 Martinez, J., 295
 Marullo, S., 486
 Marussi, A., 482
 Masi, S., 609, 613, 615, 617
 Massa, F., 431, 432
 Massacci, P., 535
 Massarotti, A., 375
 Mattei, G., 76, 78, 79
 Mattera, R., 238, 239, 251
 Mausekopf, P., 610, 611, 613
 Mayeda, T., 210
 Mayer, J. E., 173, 209
 Mayer, J.E., 203, 205, 212, 219
 Mazzoni, M.A., 580
 Mazzucato, E., 321
 McDaniel, B., 291, 292, 377
 meccanica statistica, 508
 Meddi, F., 580
 Medi, E., 8, 484
 Melchionni, M.G., 177
 Melchiorri, F., 400, 598–606, 609, 614, 617
 Meneghetti, L., 252
 Mensinger, F., 61
 Mercogliano, L., 45
 Merlin, M., 338, 341, 344, 349, 354, 400
 Mermin, D., 506, 514, 515
 Metzner, W., 520, 529, 533
 Mezzetti, L., 11, 54, 57, 58, 72, 73, 101, 197, 207, 309, 357, 366
 Mezzorani, G., 388
 Migdal, A., 513
 Migliorato, P., 450
 Milman, B., 283
 Milone, C., 63
 Minerva, D., 385
 Minghetti, N., 46
 Minnaja, N., 441
 Miranda, C., 336
 Mistri, N., 292
 Modena, I., 404
 Modesti, S., 450
 Modigliani, F., 209
 Molina, F., 80
 Molinari, E., 182, 201, 203, 208
 Moneti, G., 222
 Montalenti, G., 235
 Monteleoni-Conforto, B., 294
 Montroy, T., 613
 Montwill, A., 577
 Mooser, I., 456
 Morandi, L., 28
 Morelli, C., 481, 482
 Moreno, G., 603
 Moro, N., 247, 249
 Morpurgo, G., 96, 201, 208, 209, 224, 228–231, 233, 234, 369
 Mortara, N., 36–38
 Moruzzi, G., 261
 Mosetti, F., 482
 Mott, N. F., 220
 Mott, N.F., 520, 526, 548
 Muirhead, H., 110
 Mura, A., 54, 101, 106, 111, 114, 152
 Murtas, G.P., 289, 290, 377
 Musset, P., 576
 Mussolini, B., 47, 74, 75, 188
 Nachtrieb, N., 210
 Nambu, Y., 370, 373, 504
 Nannarone, S., 450, 451
 Narciso, D., 343
 Nardelli, G., 444
 Natale, E., 599, 602
 Natale, G., 486
 Natoli, C. R., 520
 Nencini, G., 183, 195, 196, 201
 Netterfield, B., 610, 611
 Nicoletti, G., 426, 429
 Niembro, B., 295
 Nier, A.O., 177, 179, 194, 210
 Nigro, M., 357

Nishijima, K., 350
 Niu, K., 578
 Niwa, K., 578
 Nordsieck, A., 548, 550
 Nozières P., 505

 Occhialini, A., 189, 190, 216
 Occhialini, G., 69, 80, 97, 110, 189, 216,
 221, 338, 344, 400
 Occhialini, G. S., 80, 400, 401
 Occhialini, G.S., 84
 Ogg, R.A., 148
 Oliverio, A., 380
 Olivo, B., 598, 602, 603
 Olson, D.R., 290
 Onsager, L., 173, 174, 176
 Oppenheimer, R., 124
 Orlava, G.I., 295
 Ortix, C., 533
 Osculati, B., 294
 Ossicini, A., 74, 75

 Paciello, M., 545
 Packard, M., 148
 Pallottino, G.V., 404
 Palmieri, G., 223
 Palumbo, P., 606
 Pancini, E., 11, 22, 23, 52, 55, 59, 72,
 73, 80, 82, 83, 88, 89, 101, 103,
 109, 110, 156, 186, 198–200, 205,
 216–219, 221, 223–225, 228, 364,
 379
 Pani, P., 90
 Panofsky, W., 290, 293, 388
 Paoletti, A., 60, 61, 248, 250
 Paoloni, G., 116
 Paoluzi, L., 380, 428
 Parisi, G., 383, 479, 508, 534, 563
 Parodi, A., 222
 Parrini, G., 294
 Pascal, E., 43
 Pascale, E., 610
 Passalacqua, F., 205

 Patanè, A., 461
 Patashinski, A. Z., 512
 Patella, F., 450
 Pauli, W., 124, 478
 Pedretti, E., 330
 Peierls, R. E., 495, 504, 510, 520
 Peliti, L., 508, 518, 522
 Pellegrini, C., 378
 Pellizzoni, A., 573
 PENCHINA, C., 447
 Perali, A., 520
 Perciballi, M., 608
 Perfetti, P., 450
 Perna, E., 380
 Perrier, C., 35
 Persano, A., 81
 Persico, E., 16, 26, 46, 156, 191, 205,
 264, 307, 310, 314, 316, 317,
 361, 365–369, 380, 381, 397, 502,
 507, 545
 Pesce, B., 473
 Peterzen, S., 613
 Petronzio, R., 563
 Petruccioli, S., 90
 Piacentini, F., 610
 Piaggio, R., 187
 Piazzoli, A., 156–158
 Picasso, E., 157, 162, 380
 Picchi, P., 166
 Piccioni, O., 23, 26, 49–51, 57, 82, 101,
 109, 110, 200, 386
 Piccirillo, L., 604
 Pietranera, L., 603
 Pietrocola, T., 79
 Pietronero, L., 534
 Pines, D., 505, 509
 Pinto, P., 439
 Piperno, F., 321
 Piragino, G., 156–158
 Pistolesi, F., 520, 534
 Pizzella, G., 403
 Placidi, M., 282, 426

Pokrovski, V. L., 512
 Polany, G. C., 182
 Polimeni, A., 454
 Polvani, G., 24, 25, 95, 99, 102, 103, 109, 235
 Polyakov, A., 513
 Pontecorvo, B., 4, 5, 14, 18, 145, 260
 Pontecorvo, G., 260
 Powell, C.F., 110, 338, 343
 Pregar, M., 428
 Presilla, C., 459
 Presutti, E., 508
 Prigogine, I., 174
 Prosperi, D., 61, 473, 477
 Pucci, C., 471
 Puccianti, L., 261
 Pugliese, A., 545
 Puglisi, M., 264, 276, 371, 375
 Puppi, G., 148, 288, 301, 335–338, 482, 489

 Quareni, A., 294
 Quareni, G., 344
 Quercia, I. F., 198, 200, 261, 266, 286, 383
 Quercia, I.F., 52, 55, 56, 62, 365, 381, 383
 Querzoli, R., 122, 132, 197, 278, 279, 364, 374, 375, 379, 381

 Raccanelli, A., 610
 Radicati di Brozolo, L.A., 369
 Ragnisco, O., 384
 Raimondi, R., 520, 526
 Rambaldi, A., 473
 Ranninger, J., 521
 Rasetti, F., 4, 5, 7, 9, 14, 18, 20, 21, 34, 192, 316, 317, 326, 364
 Recami, E., 385
 Rees, M., 600
 Regge, T., 371
 Reinharz, M., 217, 218
 Reynolds, G., 116, 122, 132

 Ricamo, R., 88
 Ricci, F.P., 61, 397
 Richards, P., 599, 609
 Richter, B., 379, 386
 Righetti, G. B., 321
 Risi, V., 156
 Rispoli, B., 52, 55, 56, 365
 Rizzuto, C., 222, 227, 251
 Robotti, N., 248, 250, 251
 Rochester, G.D., 346
 Rodano, F., 74
 Rolla, L., 189
 Rolla, M., 442
 Romagnino, C., 388
 Romano, G., 577, 578
 Romanovskaya, K.M., 295
 Romanzi, C.A., 233
 Ronga, F., 415
 Rosa, G., 581
 Rosei, R., 450, 451
 Rossi, B., 16, 56, 58, 95, 112, 116, 124, 150, 261, 400
 Rossi, G., 546, 547, 556
 Rossiello, G., 591
 Rostagni, A., 338, 339, 352
 Rotondano, D., 75
 Rovelli, C., 486
 Rubbia, C., 97, 128, 166, 285, 287, 293, 398, 424–426
 Ruberti, A., 380, 535, 589
 Ruffini, R., 403, 404
 Ruiz, A., 295
 Rupley, J., 174
 Russo, A., 388
 Rutherford, E., 17
 Ryashskya, O., 411

 Sacerdoti, G., 157, 264, 274, 371, 424
 Sacharov, A., 163
 Sacton, J., 577
 Sakurai, J. J., 373
 Salam, A., 164
 Salandin, G.A., 349, 354

Salinari, C., 75, 78
 Salvetti, C., 28, 95, 99, 103, 116, 118, 439
 Salvini, G., 26, 28, 54, 60, 152, 193, 259, 263, 264, 268, 285, 286, 288, 292, 357, 366–368, 371, 402, 471, 472, 501, 545, 561
 Samoggia, G., 449
 Sanchis, M.A., 295
 Sands, M., 264, 367, 377
 Sanna, A., 217, 218, 223
 Sannino, M., 294
 Santangelo, M., 22, 181, 203–205, 213
 Santini, P. M., 384
 Santonico, R., 426, 429, 430
 Saragat, G., 506
 Sartoris, G., 474, 475
 Saxena, S., 290
 Sbordoni, G., 384
 Sbrana, F., 190
 Scalfaro, O.L., 251
 Scaramuzzi, F., 173, 606, 610
 Schacherl, S., 91
 Schaerf, C., 97
 Schein, M., 209, 213
 Schiavuta, E., 357
 Schrieffer, J.R., 220, 239, 444
 Schrieffer, R., 503
 Schune, D., 294
 Schutz, B., 409
 Schweber, S., 515
 Schwinger, J., 553, 554
 Sciarra, R., 321
 Sciuti, S., 70, 91, 101, 149, 197, 198, 365, 397
 Scoles, G., 219, 226, 228, 229, 237–239, 245, 251, 252
 Scorza, G., 43
 Scottoni, I., 341
 Sebastiani, F., 385, 431
 Sechi, B., 346, 354
 Segrè, E., 364, 383, 386
 Segrè, E., 3–5, 18, 21, 31–36, 56–58, 178, 200, 569
 Segrè E., 14, 15
 Segre, S., 318
 Seitz, F., 220, 440
 Senatore, G., 45
 Serafini, R., 388
 Serber, R., 100
 Serin, B., 225–227
 Sette, D., 444
 Severi, F., 73
 Sharif, B., 515
 Shockley, W., 444
 Sholomitski, G., 608
 Shutt, R. P., 153
 Shutt, R.P., 162
 Sidorov, V., 388
 Signorini, A., 364
 Sillano, P., 148
 Silverman, A., 292, 377
 Silvestri, M., 96, 116
 Silvestri, V., 28
 Sisto, F., 321
 Skrinski, a., 388
 Smith, C., 210
 Smith, G., 447
 Smoot, G., 609
 Soglasnova, V., 608
 Solinas, , 222
 Sommerfeld, A., 548
 Sona, G., 367
 Sorella, S., 520
 Soso, F., 357
 Spadolini, G., 380
 Specchia, O., 145, 147, 442
 Speranza, A., 489
 Spessa, B., 248
 Spillantini, P., 357
 Srivastava, Y., 543, 561
 Störmer, H., 457
 Stein, P., 377
 Stern, O., 237

Stoppini, G., 58, 197, 364, 370, 397
 Straneo, P., 189
 Strauch, K., 293
 Strinati, G., 520, 534
 Stroffolini, R., 88, 334, 338
 Strong, J., 262
 Strubbe, H., 293
 Stuewer, R., 386
 Succi, C., 152, 154, 155
 Superadone, 380
 Sutura, A., 489
 Suura, H., 555
 Sylos Labini, F., 604
 Sylos Labini, P., 207
 Symanzik, K., 519

 Tabet, E., 505
 Tagliacozzo, F., 495, 500
 Tagliaferri, G., 54, 101, 109, 111, 152,
 154, 155, 264
 Talman, R., 292
 Tamburini, S., 364
 Tarsitani, C., 90, 91, 385
 Tatarek, R., 237–239
 Taylor, J.H., 405
 Tecce, G., 380, 609
 Tedeschini Lalli, B.M., 535
 Telegdi, V., 210, 213
 Tentindo, S., 295
 Testa, M., 383, 384, 479
 Thirring, W.E., 550, 551, 554
 Ting, S., 287, 293, 379
 Toffoli, T., 426
 Toller, M., 424
 Tomasini, G., 162, 294
 Tomassini, M., 321
 Tommasini, F., 229
 Tommei, G., 238
 Tongiorgi, V., 101, 112, 121
 Toraldo di Francia, G., 300
 Torello, F., 229
 Tosatti, E., 450
 Toschi, R., 325, 371, 424

 Tosi, M., 440, 444, 445, 450
 Touschek, B., 59, 86, 89, 96, 271, 274,
 278, 361, 369, 371–374, 378–
 380, 386, 471, 472, 502, 504,
 544, 545, 547, 548, 550, 551,
 555–557, 559, 561
 Trabacchi, G.C., 7, 37, 38, 194
 Tretyakova, M.I., 295
 Trigila, R., 486
 Trombadori, A., 75, 76
 Tsai, Y.-S., 556
 Turco, F., 177
 Turrin, A., 96, 264, 367
 Tyson, J. A., 515

 Urey, H.C., 205–207, 209–213, 216

 Valatin, G.C., 508
 Valatin, J.C., 510
 Valatin, J.G., 495, 504, 506
 Valente, V., 357
 Valenziano, L., 606
 Vallauri, M. E., 218, 219, 221, 225, 242,
 249
 Valle, G., 288
 Valletta, V., 28
 Vallobona, E., 248
 Van Allen, J.A., 395, 399, 400
 Van der Meer, S., 97, 128
 Vanderhaeghe, G., 295
 Veneroni, M., 474, 475
 Veneziano, G., 291, 371
 Ventura, G., 600
 Verde, M., 202
 Viaggi, F., 294
 Vicentini, M., 90, 384
 Viligiardi, S., 323
 Villa, F., 357
 Villar, E., 295
 Villi, C., 97
 Virasoro, M., 534
 Vitale, A., 374
 Vitale, B., 334, 337, 338, 340, 352, 353

Vitali, A., 267, 276, 280
Volpi, G. G., 177
Volpi, G.G., 182, 205, 207, 250
Volta, A., 15
von Dardel, G., 377

Walker, R., 377
Waloschek, P., 428
Weber, J., 403, 406, 408, 416
Weinberg, S., 164
Wentzel, G., 209, 212, 213
Wheeler, J., 95, 116, 124, 179
Wick, G.C., 22, 51, 56, 73, 80, 82, 101,
209
Widom, B., 506, 514, 515
Wiegand, C., 84, 383
Wigner, E. P., 124
Wigner, E.P., 124, 132, 182, 219
Willot, B, 294
Wilson, K., 506, 512, 514–519
Wilson, R., 133, 292, 369, 377

Yennie, D.R., 555
Young, W., 508

Zanchi, L., 198, 591
Zanello, D., 297, 430, 435
Zanini, M., 450
Zanoni, G., 187, 188
Zanotelli, G., 148
Zavattini, E., 426
Zecchino, O., 386
Zevi, G., 72
Zevi, M., 72
Zichichi, A., 378, 386
Ziman, J., 220
Zirilli, F., 479
Zorn, G.T., 346, 354
Zuckermann, M., 227
Zumino, B., 196, 197, 201, 215
Zwanziger, D., 477

Glossario

- J/Ψ , 379, 382, 548, 557, 560
 ϑ/τ puzzle, 569
- abbondanze isotopiche, 179, 180, 194, 205, 206, 208, 217, 218
- Accademia dei Lincei, 584
- AdA, 96, 126, 259, 274–278, 281, 361, 373–376, 381, 386, 547
- Adone, 96, 97, 126, 128, 259, 281, 282, 352, 361, 376–382, 426, 427, 432, 436, 545, 547, 548, 555, 556, 559
- AGIP, 183, 397
- Anderson
 localizzazione di, 496, 523, 526
 transizione di, 522, 526
- anisotropia del fondo cosmico a microonde, 599
- antenna gravitazionale, 395, 407, 409, 414
- antenna risonante, 395
- antiprotone, 56, 84, 85, 386, 569
- araldite, 265, 266, 268, 426
- archeometria, 62
- ASI, 97, 606, 610, 617
- astronomia gamma, 601
- astronomia infrarossa, 601
- astronomia X, 601
- Bell Telephone, 447
- Bell Telephone Labs, 446–449, 454, 455, 458, 460
- BEPP0–SAX, 97
- betatrone, 95, 99, 161, 162
- Bianchi
 universi di, 600
- Big Bang, 600
- Bloch–Nordsieck method, 552, 554
- Bogolubov
 approssimazione di, 504
 modello di, 504
- Bonafede
 modello di, 491
- Bond factor, 547, 559, 563, 564
- BOOMERanG, 597, 598, 606, 609, 610, 614–617
- bootstrap, 371
- borsa di studio Fulbright, 213
- borsa Fulbright, 173, 207, 210
- Bose
 condensazione di, 533
 gas di, 505, 509
 liquido di, 496
- bosone Z^0 , 287
- bosoni intermedi, 128
- calorimetria, 423
- calorimetro a fibre scintillanti, 433
- camera a bolle, 143, 160, 430, 573–576
- camera a diffusione, 143, 152
- camera a fili, 573, 577
- camera a flash, 429, 431
- camera a ionizzazione, 192
- camera a scintilla, 424, 426, 427, 429, 436, 573, 575
- camera da vuoto, 264, 266, 268, 276–278
- camera di Iarocci, 429
- camera di ionizzazione veloce, 150

camera di Wilson, 17, 99, 197, 263
campi ARAR, 196, 198, 262
Casaccia, 60, 432, 433
cascate elettronucleari, 150
Castagnoli
 formula di, 569
catastrofe infrarossa, 548
cella solare fotovoltaica, 438, 451
CERN, 29, 59, 96, 115, 128, 166, 259,
 283, 285, 287, 376, 380, 414,
 424, 426, 429, 432, 435, 567,
 569–572, 575, 576, 578, 580, 581,
 587
Charge-Coupled Device, 447
ciclotrone, 20, 35
circuitto integrato, 447
CISE, 28, 29, 96, 116
CNEN, 61, 318, 321, 328, 330, 543, 585
CNES, 606
CNR, 33, 36, 197, 235, 236, 246, 401,
 404, 480, 482, 483, 583–585, 589,
 598, 601–603
CNRN, 310, 316, 318
Cockcroft-Walton, 6, 18
CONI, 585
contatore Čerenkov, 280
contatore a gas, 424
contatore a scintillazione, 117, 424, 428,
 429
contatore a toluolo liquido, 424
contatore Geiger, 397
contatore Geiger-Müller, 101, 150, 151,
 262, 309, 311, 312
contatore Geiger-Müller, 99, 104, 121,
 122, 152
Cornell University, 264, 268
correzioni radiative, 545
Cosmic Microwave Background, 605
Cosmotrone, 114, 348

DAFNE, 415, 434
datazione con radiocarbonio, 312
decadimento del protone, 166

doppio decadimento beta, 193

effetto Sunyaev-Zeldovich, 618
EIAR, 77
elettronica a valvole, 425
elettrosincrotrone di Frascati, 152, 156,
 263, 266, 270, 271, 277
elio liquido, 222
elio superfluido, 503, 504, 507, 509
emulsioni nucleari, 287, 293, 338, 341,
 398, 568, 570–573, 575–577, 581,
 stack di, 569, 577, 578
ENEA, 61, 316, 318, 330, 486, 589, 606
ENI, 174
equazione di Landau-Ginzburg, 508
ESA, 97, 402, 608
esperimento UA1, 97
Esposizione Universale, 20
ESRO, 401
EURATOM, 318, 325, 327, 330
evento Faustina, 86

Faraday
 tazza di, 400
fase
 separazione di, 529, 530
 transizione di, 508, 511
Fermi
 gas di, 509
 liquido di, 496
 statistica di, 14
Fermilab, 429, 574, 575
FET, 441, 450
FIAT, 399
fibre scintillanti, 433, 434
Finkel'stein
 modello di, 525
fisica spaziale, 396
fondo cosmico a microonde, 599, 600,
 602, 604, 606, 609, 611, 613,
 617, 618
 anisotropia del, 599, 602, 606, 615

polarizzazione del, 599, 600, 602, 605, 615
 spettro del, 599
 fotodisintegrazione nucleare, 147
 frazionamento isotopico, 218
 fusione, 316, 318, 326, 330

 G-Stack, 347
 gamma-ray bursts, 97
 gas di quasiparticelle, 509
 germanio, 442, 443
 GISM, 235
 GNSM, 235, 236
 Gran Sasso, 144
 Grand Unified Theories, 163, 165
 gravitazionale
 onda, 395
 gruppo di rinormalizzazione, 512, 518, 519, 523, 526, 534

 Hubbard
 modello di, 521, 528, 530

 IFSI, 401, 403
 INFM, 250, 251
 INFN, 29, 61, 95–97, 207, 217, 220, 232, 234, 235, 316, 337, 344, 352, 380, 398–400, 430, 484, 505, 507, 543, 567, 583–587, 589–591
 INPS, 585
 Institute for Nuclear Studies, 207, 209, 210
 Intersecting Storage Rings, 572
 iperone, 569
 IROE, 598
 ISR, 287
 ISTAT, 585
 Istituto di Sanit'a, 23
 Istituto Nazionale di Geofisica, 203, 486, 489, 492
 Istituto Superiore di Sanità, 1, 6, 18, 22, 28, 38, 147, 194, 366
 Istituto Superiore di Sanit'a, 23

 J/ Ψ , 127, 130

 Kamiokande, 408–411
 KLOE, 434

 Laboratori Bell, 227, 238
 Laboratori del Gran Sasso, 166, 169
 Laboratori di Frascati, 259, 267, 269, 278, 283, 285, 286, 316, 318, 404, 414, 415, 426, 427, 584, 585
 Laboratori Nazionali di Frascati, 157, 357, 434, 543, 545, 547
 laboratorio criogenico di Frascati, 222
 Laboratorio del Gran Sasso, 581
 Laboratorio della Testa Grigia, 6, 53, 55, 56, 81, 103, 105, 109, 113, 115, 150, 152, 366, 599, 609
 laboratorio della Testa Grigia, 143
 Laboratorio di didattica delle scienze, 91
 Laboratorio Gas Ionizzati, 316–319, 325
 Lambda C⁺, 293
 Landau
 parametri di, 525, 526
 teoria di, 515, 523, 525, 526, 532
 Large Hadron Collider, 563
 lastre, 85
 LEP, 296, 297, 433
 LEP-5, 288
 LHC, 567, 580
 Los Alamos, 209

 magnetosfera terrestre, 395
 meccanica statistica, 502, 519
 mesone μ , 100, 117, 150, 151, 370
 mesone π , 100
 mesone π^0 , 168
 mesone *beauty*, 577
 mesone *charm*, 577
 mesone K, 371, 569
 mesone rho, 291
 mesoni kappa, 349

mesoni vettoriali, 370, 378
 MIT, 327, 400, 514, 524, 525
 mixing, 371, 386
 modello a quark, 571, 575
 Modello Standard, 164, 165
 modello standard, 580
 monopolo magnetico, 571
 MOS, 443, 450
 MOSFET, 441
 Mott
 transizione di, 520–522, 526
 MURST, 589

 NASA, 398–400, 402, 404
 NATO, 476, 482
 neutrini
 oscillazioni di, 580
 neutrini atmosferici, 166
 neutrini solari, 166
 neutroni lenti, 5, 14, 18
 numero barionico, 164

 odoscopio, 56
 odoscopio di contatori, 107, 151
 onde gravitazionali, 288, 395, 403
 oscillazione neutrone–antineutrone, 164
 oscillazioni di neutrino, 166
 oscillazioni neutrone–antineutrone, 144
 ottica elettronica, 314

 pallone stratosferico, 601, 602
 palloni stratosferici, 341
 paramagnetismo nucleare, 149
 particelle charmate, 352
 particelle ionizzanti, 144, 153, 155, 159, 160
 particelle strane, 340, 352
 plasma, 316, 318, 319, 326, 329, 330, 371
 plasma di quark e gluoni, 567
 pompa a ionizzazione, 273, 276
 produzione multiadronica, 352
 progetto Manhattan, 209
 Quantum ChromoDynamics, 561, 563
 Quantum Electrodynamics, 370, 371, 375, 562
 quark *charm*, 575, 576

 radioattività artificiale, 14
 scoperta della, 17
 raggi cosmici, 101, 149, 395
 Regge
 poli di, 543, 545, 561
 risonanza magnetica nucleare, 143, 147, 148

 Saclay, 429
 scaling, 382, 512, 513
 scattering Compton inverso, 297
 sciame estesi, 101, 117, 149, 150
 sciame estesi atmosferici, 150
 sciame penetranti, 150, 151
 scintillatori liquidi, 131
 Scuola di Varenna, 220, 239, 403
 semiconduttori, 441
 silicio, 443
 simmetria
 rottura spontanea di, 504
 SIRIO, 399
 SLAC, 290, 587
 Società italiana di Fisica, 25
 sonda di Langmuir, 318, 319
 spark gap, 436
 spettrometria di massa, 176, 216
 spettrometro di massa, 173, 177, 179, 183, 194, 195, 208, 217
 spettrometro di muoni, 580
 spettroscopia di masse, 181
 spettroscopia modulatore, 450
 spettroscopia Raman, 46
 SQUID, 288, 298, 404, 412
 stack di emulsioni nucleari, 578
 stacks di emulsioni nucleari, 575
 Standard Model, 131
 Super ProtoSincrotrone, 259, 283, 293
 Superadone, 380
 Superconductor Quantum Computer, 299

superconduttività, 148, 222, 228, 503
superconduttore, 503
superconduttori ad alta temperatura, 527,
528

teoria a molti corpi, 509
teoria BCS, 503, 504
termodinamica statistica, 195
Thirring
 modello di, 479, 480
Time Projection Chamber, 166, 167
Tokamak, 375
tokamak, 327, 329, 330
transizione metallo-isolante, 520–523, 526
transizioni metallo-isolante, 526
tubi di Clusius–Dickel, 180, 201, 202,
208

ultra-vuoto, 272, 275

valvola termoionica, 149
Van Allen
 fasce di, 401, 402
vector dominance, 373
vento solare, 395, 400
VEPP2, 376
vetri di spin, 522

Wide Angle Bremsstrahlung, 374
Wilson
 gruppo di, 516, 519