

CAPITOLO 2

L'affermazione della fisica palermitana nel panorama scientifico nazionale, 1935-1970

Arturo Russo

Per oltre mezzo secolo dopo la morte di Michele La Rosa, il volto severo, scolpito nel marmo, del “fisico insigne, maestro e rettore di questo ateneo”, ha accolto i visitatori dell’Istituto di Fisica, ospitato dal 1934 nella nuova sede di via Archirafi, accanto agli altri istituti delle Facoltà di Scienze e di Farmacia.¹ Il bassorilievo oggi non c’è più, scomparso nel corso di una delle ultime occupazioni studentesche degli anni ‘80, e i resti del monumento sulla parete del corridoio di ingresso sono nascosti da un grande armadio metallico, pieno di vecchie annate di riviste scientifiche. Negli oltre sessant’anni trascorsi dalla scomparsa dell’allievo di Damiano Macaluso la fisica è cambiata radicalmente, e nulla rimane ormai di un’epoca in cui bastavano un professore, un assistente e un bravo meccanico per condurre l’attività sperimentale e formare i pochi fisici richiesti dagli istituti di ricerca, dall’industria o dalla scuola. Già alla metà degli anni ‘30, del resto, questa disciplina stava vivendo una drammatica fase di cambiamento.² La teoria della relatività e la meccanica quantistica ne avevano rivoluzionato i fondamenti, fornendo la chiave per la comprensione dei processi fondamentali a livello atomico e sub-atomico; il nucleo dell’atomo, sede di forze ancora sconosciute, era la nuova frontiera su cui si concentravano gli sforzi teorici e sperimentali della nuova generazione di ricercatori, i quali potevano disporre di strumenti sempre più sofisticati in laboratori sempre più grandi e attrezzati; nuovi settori di ricerca si aprivano nel campo dell’elettronica, della fisica dei raggi cosmici, della spettroscopia atomica e molecolare, dell’astrofisica, dell’elettrodinamica quantistica, della fisica delle basse temperature; una nuova geografia della ricerca veniva configurandosi, che vedeva i laboratori industriali e i grandi laboratori nazionali affiancarsi alle tradizionali istituzioni accademiche, il rapido aumento quantitativo del numero di fisici impegnati nella ricerca scientifica, e l’emergere della comunità scientifica americana nel ruolo di avanguardia che era stato

¹ Il monumento a La Rosa fu scoperto il 16 ottobre 1935, in occasione del XXIV congresso nazionale della Società Italiana per il Progresso delle Scienze (SIPS), tenutosi a Palermo: cfr. *Il Nuovo Cimento*, N.S. vol. 13 (1936), pp. 132-133.

² Heilbron (1984).

proprio di quella tedesca prima che l'antisemitismo nazista ne facesse scempio. La seconda guerra mondiale, drammaticamente segnata dalle esplosioni atomiche di Hiroshima e Nagasaki, avrebbe portato in seguito la fisica al centro dell'attenzione dell'opinione pubblica e dei governi, facendone negli anni della guerra fredda l'asse portante della politica scientifica di tutti i paesi più industrializzati, in uno stretto intreccio di aspetti scientifici, tecnologici, industriali e militari.³

A Palermo, come nelle altre università italiane, i fisici dovettero confrontarsi con questa realtà in rapida evoluzione, aprendosi ai nuovi settori di ricerca e ai nuovi influssi internazionali per uscire da una perdurante condizione di marginalità ed arretratezza. Nell'affrontare questa sfida, essi avrebbero dovuto attraversare le vicende drammatiche delle leggi razziali fasciste, responsabili della decapitazione della parte migliore della scienza italiana, di una guerra tanto distruttiva a livello delle infrastrutture produttive quanto lacerante sul piano politico e culturale, e di una fase di ricostruzione difficile e complessa.

Nelle pagine che seguono analizzeremo gli eventi principali che hanno segnato la storia della fisica palermitana nell'arco temporale che va dalla metà degli anni '30 all'inizio degli anni '70. In questo periodo è possibile riconoscere tre fasi distinte, tanto dal punto di vista temporale che dal punto di vista istituzionale. La prima fase, che copre il quinquennio successivo alla morte di La Rosa, è fortemente caratterizzata dalla presenza a Palermo, quale professore di Fisica Sperimentale e direttore dell'istituto, di Emilio Segrè, uno dei più brillanti allievi e collaboratori di Enrico Fermi a Roma. In questo periodo breve ed intenso - Segrè, come vedremo, restò a Palermo meno di tre anni - la fisica palermitana conobbe una stagione di grande dinamismo scientifico che la portò a contatto con il fronte più avanzato della ricerca nucleare a livello internazionale. Il lavoro di Segrè a Palermo, oltre a produrre una scoperta scientifica destinata ad essere ricordata nei libri di testo, pose le basi per un profondo rinnovamento di strutture e di mentalità dell'intera comunità scientifica palermitana. Questo processo, però, fu bruscamente interrotto quando il fisico romano, di famiglia ebraica, fu costretto a lasciare l'Italia a causa delle leggi razziali.

La seconda fase, che copre all'incirca il periodo 1939-1951, è segnata dall'effimero passaggio palermitano del successore di Segrè, Giuseppe Bolla, dalla cesura determinata dalle vicende belliche, e infine dal sostanziale assenteismo di Enrico Medi, direttore dell'istituto fino al 1953. Una fase di declino, per non dire di assenza, della fisica palermitana, tanto più grave in quanto si acuiva il ritardo rispetto al faticoso processo di ricostruzione post-bellica del sistema della ricerca in Italia. La ripresa si ebbe infine nel ventennio successivo, è questa la terza fase, quando l'iniziativa di un piccolo gruppo di ricercatori determinò l'emergere e il consolidarsi di una solida tradizione di ricerca, capace di garantire alla fisica palermitana un ruolo specifico nel panorama scientifico nazionale. Alcuni dei protagonisti di quest'ultima fase sono tuttora attivi nella ricerca e contribuiscono, in una dimensione più larga che coinvolge fisici provenienti da altre tradizioni di ricerca, ad arricchire il patrimonio di sapere prodotto dalla comunità scientifica palermitana.

Un'occasione perduta: Emilio Segrè e la scoperta del tecnezio

Dopo la scomparsa di La Rosa, la cattedra di Fisica Sperimentale di Palermo fu messa a concorso nel 1935. È un momento particolarmente felice per la fisica italiana, sempre più dominata dalla personalità di Enrico Fermi e dai grandi dinamismi scientifici del suo gruppo di giovani collaboratori all'Istituto di Fisica dell'Università di Roma. La nuova stagione era stata inaugurata sei anni prima da Orso Corbino in un celebre discorso al XVIII congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze (SIPS), nel quale l'antico allievo di Macaluso, ormai inserito ai più alti livelli della vita politica nazionale, aveva enunciato le linee fondamentali di una politica scientifica volta a rinnovare la fisica italiana, superando una drammatica condizione di arretratezza strutturale e di provincialismo culturale.⁴ Nel suo discorso, Corbino aveva sottolineato con forza i due fattori principali che avevano determinato lo sviluppo della fisica nei due decenni precedenti, cioè la creazione di grandi laboratori centri di ricerca dotati di apparecchiature sofisticate e di ingenti mezzi finanziari, e rapporto sempre più stretto tra attività sperimentale e speculazione teorica. Su entrambi questi terreni l'Italia era in ritardo, vittima della carenza di risorse destinate alla ricerca, di un ordinamento universitario arretrato, e della tradizionale separazione tra fisica sperimentale e fisica matematica. Per superare tale ritardo, e "riprendere con onore le posizioni perse", Corbino affermava la necessità di individuare quei settori di ricerca in cui maggiore fosse la possibilità di scoprire fenomeni nuovi, concentrando in essi le risorse finanziarie e intellettuali in modo da rinnovare mentalità e stili di ricerca. Dopo una disamina puntigliosa degli sviluppi più recenti nei diversi campi della fisica moderna, Corbino concludeva che "la sola possibilità di nuove grandi scoperte in fisica risiede perciò nella eventualità che si riesca a modificare il nucleo interno dell'atomo. E questo sarà il compito veramente degno della fisica futura". La fisica nucleare, un settore di ricerca nuovo e ancora relativamente marginale a quel tempo, veniva così indicata come il terreno più promettente dal punto di vista delle nuove scoperte, il più ricco di implicazioni teoriche rivoluzionarie, e quello potenzialmente più fecondo dal punto di vista delle possibili applicazioni pratiche. Su tale terreno la fisica italiana avrebbe dovuto cercare la strada del rinnovamento e ritrovare quindi un ruolo di prestigio a livello internazionale.

Da questa visione di Corbino, unita al genio scientifico di Fermi, ebbe origine la grande avventura del cosiddetto "Gruppo di via Panisperna". Negli anni in cui la fisica nucleare si affermava quale settore trainante della ricerca fisica a livello internazionale, l'Istituto di Fisica di Roma, di cui Corbino era direttore dove Fermi, grazie allo stesso Corbino, era diventato nel 1926 il primo professor di fisica teorica in Italia, si attrezzò per tenere il passo con gli sviluppi più avanzati in questo campo. Nell'autunno del 1931, due anni dopo il discorso di Corbino alla SIPS, Fermi organizzò a Roma, con il patrocinio dell'Accademia d'Italia, un grande congresso internazionale di fisica nucleare, il primo su questo tema, con la partecipazione di tutti i principali fisici teorici e sperimentali che si erano interessati al problema della struttura e delle proprietà del nucleo atomico.⁵ Il 1932 fu pe-

la fisica nucleare un vero e proprio "annus mirabilis", ricco di scoperte e di nuovi risultati sperimentali. Nel corso di quell'anno furono scoperti il neutrone, uno dei costituenti del nucleo, e il positrone, ovvero l'anti-elettrone previsto dalla teoria quantistica del fisico inglese Paul Dirac.⁶ Sempre nel 1932 fu riconosciuta l'esistenza di un isotopo pesante dell'idrogeno, il deuterio, e fu realizzata la prima disintegrazione artificiale di un nucleo atomico. Nell'autunno dell'anno successivo tutti i maggiori protagonisti della fisica nucleare si ritrovarono a Bruxelles per il settimo Congresso Solvay, un appuntamento ricorrente per la grande fisica del '900, dedicato quell'anno a questo nuovo settore di ricerca. Pochi mesi dopo, nel gennaio 1934, arrivò l'annuncio di una nuova importante scoperta, quella della radioattività artificiale, che sarà alla base del magnifico lavoro di Fermi e dei suoi collaboratori sulla radioattività indotta dai neutroni lenti. Roma divenne così una delle grandi capitali della fisica nucleare, insieme a Parigi, Cambridge, Berlino e Berkeley.⁷

Nell'estate del 1935 non potevano esserci dubbi circa l'esito del concorso per a cattedra di fisica sperimentale di Palermo. Il vincitore sarebbe stato uno dei "ragazzi di via Panisperna", le ragioni dell'anagrafe e dei titoli scientifici dettavano il nome di Emilio Segrè. Nato a Tivoli da un'agiata famiglia ebraica, Segrè (1905-1989) aveva cominciato gli studi universitari presso la scuola di ingegneria di Roma, passando poi a fisica in seguito all'incontro con Franco Rasetti e con Fermi. Dopo la laurea, conseguita nel 1928, egli era diventato assistente di Fermi e aveva avuto parte attiva nelle ricerche del gruppo romano nel campo della spettroscopia e della fisica nucleare. La sua esperienza scientifica era stata arricchita da un soggiorno di alcune settimane presso il laboratorio di Pieter Zeeman ad Amsterdam e da un più lungo periodo di lavoro nel laboratorio di Otto Stern ad Amburgo. La sua domanda di partecipazione al concorso era corredata da 40 pubblicazioni scientifiche e il giudizio della commissione fu unanime.⁸

La notizia di avere vinto il concorso di Palermo raggiunse Segrè a New York alla fine di ottobre 1935, al termine di un periodo di lavoro presso la Columbia University. Il 16 Novembre egli si imbarcò per l'Italia e un mese più tardi prese regolarmente servizio nel nuovo edificio di via Archirafi. Il 15 gennaio 1936, il neo-professore tenne la prolusione al corso di Fisica Sperimentale sul tema "Il nucleo atomico".

L'impatto con il suo nuovo ambiente di lavoro, ricorda Segrè nella sua autobiografia, non fu entusiasmante. Abituato al grande dinamismo scientifico del gruppo romano e ormai inserito nel circuito internazionale della ricerca fisica più avanzata, egli trovò a Palermo apparecchi e attrezzature antiquate, un assistente di mezza età, Giuseppe Petrucci, i cui lavori nel campo della fisica terrestre non lo avevano ancora abilitato alla libera docenza, e un anziano meccanico (G. Battista Russo). Non c'erano altri professori di fisica o materie affini", aggiunge Segrè, ignorando

⁶ De Maria & Russo (1985), Russo & Santamaria (1990).

⁷ Sulla storia del gruppo di Fermi a Roma, cfr. Tarsitani (1981); Holton (1983), pp. 351-402; Amaldi (1984a). Cfr. anche Segrè (1987), pp. 45-102. Oltre a Fermi, il gruppo comprendeva i fisici Franco Rasetti, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi e Bruno Pontecorvo, e il chimico Oscar D'Agostino. Attorno al gruppo degli sperimentali gravitavano inoltre i giovani fisici teorici Ettore Majorana e Gian Carlo Wick. Una dettagliata storia "interna" della fisica nucleare negli anni '30 si trova in Amaldi (1984b).

⁸ Segrè (1995). Il giudizio della commissione è riportato a p. 138.

stranamente Antonio Sellerio, professore di Fisica Tecnica presso la Facoltà di Ingegneria e incaricato da molti anni del corso di Fisica Superiore della Facoltà di Scienze, per il quale svolgeva un programma incentrato sulla teoria della relatività.⁹ Questo giudizio può apparire ingeneroso. In realtà, come sappiamo, La Rosa aveva abbandonato da tempo la ricerca attiva e non si era preoccupato di creare un vero laboratorio o una scuola. Gli studenti iscritti al corso di laurea in fisica si contavano sulle dita di una sola mano e il numero di laureati era irrisorio.¹⁰ Lo stesso La Rosa, inoltre, risultava sospetto agli occhi della nuova generazione di fisici a causa della sua lunga battaglia contro la teoria della relatività einsteiniana.¹¹ Quanto a Sellerio, anch'egli esponente della vecchia generazione e comunque esterno all'Istituto di Fisica, il suo distacco dalla ricerca attiva e il suo interesse per le implicazioni filosofiche della fisica moderna non favorivano certamente l'avvio di un rapporto di collaborazione con il giovane e ambizioso ricercatore che arrivava da Roma. L'ambiente palermitano, in definitiva, appariva a Segrè come un esempio tipico di quella arretratezza culturale della fisica italiana che Corbino denunciava da anni, e che solo l'impegno sui nuovi filoni di ricerca e i rapporti con le grandi scuole internazionali potevano permettere di superare. Così, benché affascinato dalla bellezza della città e dei suoi dintorni, Segrè non poteva certamente considerare il suo futuro soggiorno palermitano come un periodo di grande produttività scientifica. D'altra parte, le prospettive di ricongiungimento con il gruppo romano erano estremamente remote e alcuni passi compiuti per verificare le possibilità di trasferimento in altre sedi si rivelarono scoraggianti. Segrè si rassegnò quindi all'idea di una lunga permanenza nel capoluogo siciliano, comprò una casa e vi si stabilì con la moglie, Elfriede Spiro, e il figlio appena nato.

Il primo obiettivo di Segrè, il quale assunse anche l'incarico di Fisica Superiore, fu quello di realizzare nell'istituto le condizioni minime per avviare un programma di ricerca nel campo della fisica nucleare, utilizzando nel modo migliore la dotazione di 14.000 lire assegnata in bilancio.¹² Per questo fece costruire una camera di ionizzazione del tipo di quella da lui usata a Roma e ordinò subito gli strumenti

⁹ Segrè, (1995), p. 140. Petrucci otterrà la libera docenza in Fisica Terrestre e Climatologia alla fine del 1936. Sellerio era stato allievo di Macaluso insieme a Corbino e La Rosa ed era diventato professore di Fisica Tecnica presso la Scuola di Ingegneria nel 1925. Le sue dispense di Fisica Superiore per l'a.a. 1934-35, intitolate *Da Galileo a de Broglie*, sono state pubblicate dalle Edizioni del Gruppo Universitario Fascista (G.U.F.) di Palermo nell'anno XIII E.F., una circostanza questa che certamente non doveva entusiasmare Segrè.

¹⁰ Dagli Annuari dell'Università risulta che gli studenti iscritti al corso di laurea in Fisica nel triennio accademico 1935/36 - 1937/38 furono 8. Negli stessi anni vi fu un solo laureato (nel 1937/38). La maggior parte degli studenti che frequentavano l'istituto appartenevano al corso di laurea in Matematica e Fisica, con 150 iscritti e 23 laureati nel triennio considerato.

¹¹ Un incontro poco felice tra La Rosa e Segrè nello studio di Corbino a Roma è ricordato in Segrè (1995), p. 131.

¹² La cifra si trova negli Annuari dell'Università relativi al periodo in considerazione. Occorre notare a questo proposito che, nella sua autobiografia (p. 163), Segrè ricorda che l'Università gli assegnò nel 1937 un fondo di 200.000 lire, destinato soprattutto all'acquisto di attrezzature per l'officina meccanica e al rifacimento di impianti indispensabili. Nei bilanci pubblicati negli Annuari dell'Università non siamo riusciti a trovare traccia di questo stanziamento, che sembra piuttosto provenire da uno stanziamento straordinario di 4 milioni di lire per l'Università di Palermo deciso dal Governo in seguito alla visita di Mussolini nell'autunno del 1937 (cfr. il discorso inaugurale del Rettore G. Scaduto nell'Annuario Accademico 1937-38). Tali fondi saranno utilizzati dal successore di Segrè, G. Bolla (*infra*).

necessari per eseguire misure di radioattività, in particolare un **elettrometro di Perucca** da usare in connessione con la camera di ionizzazione (figura 1).¹³ Insieme agli strumenti occorre anche dei collaboratori, e Segrè si diede dunque da fare per trovare validi assistenti. Il primo fu un giovane laureato palermitano, Mariano Santangelo, cui si aggiunsero successivamente Nestore Cacciapuoti e Manlio Mandò, entrambi provenienti dalla Scuola Normale di Pisa. Inoltre, Segrè riuscì a convincere le autorità accademiche palermitane ad istituire una cattedra di Fisica Teorica e bandire il relativo concorso. Questo fu vinto da Gian Carlo Wick, un giovane fisico teorico che ruotava intorno al gruppo di Fermi a Roma, il quale arrivò a Palermo alla fine del 1937.¹⁴ In definitiva, a due anni dall'arrivo di Segrè la fisica palermitana si avviava ad abbandonare la sua collocazione periferica per inserirsi a pieno titolo nel fronte più avanzato della ricerca. L'Istituto di Fisica, tradizionalmente strutturato intorno a un professore e un assistente, come la maggior parte degli istituti universitari italiani, cominciava ad organizzarsi come istituto policattedra, con un gruppo omogeneo di ricercatori di buon livello e collegati ad un prestigioso circuito scientifico nazionale ed internazionale. In questo quadro fu realizzato nel 1937 un risultato di grande importanza, la scoperta del tecnezio, la cui storia vogliamo riassumere brevemente.¹⁵

Nell'estate del 1936, al termine del suo primo anno di insegnamento a Palermo, Segrè decise di recarsi negli Stati Uniti per visitare il grande laboratorio di fisica nucleare creato da Ernest Lawrence all'Università di Berkeley, California, la cui attività ruotava intorno al ciclotrone, una macchina per accelerare particelle subatomiche inventata dallo stesso Lawrence. Il *Radiation Laboratory* di Berkeley era a quel tempo uno dei centri più importanti per la ricerca nucleare, antesignano dei grandi laboratori per la fisica delle particelle elementari che avrebbero caratterizzato la cosiddetta "big science" nel dopoguerra. Vi lavoravano fisici, chimici, biologi, ingegneri e medici, impegnati principalmente nella produzione sistematica di grandi quantità di isotopi radioattivi mediante il ciclotrone. I radioisotopi venivano creati facendo interagire fasci di neutroni, protoni, deutoni e particelle alfa con diversi tipi di bersagli, e dall'analisi dei processi di produzione e decadimento si potevano ricavare informazioni sulle reazioni nucleari e sulle condizioni di stabilità dei nuclei atomici. Inoltre, molti radioisotopi venivano prodotti su larga scala per essere usati nella terapia dei tumori o come traccianti radioattivi per lo studio di vari processi fisiologici. Quest'ultimo aspetto era particolarmente importante, in quanto garantiva al laboratorio generosi finanziamenti da parte di importanti istituzioni filantropiche interessate alla ricerca bio-medica, quali la Rockefeller Foundation e la Macy Foun-

¹³ Per una descrizione dello strumento cfr. Segrè (1935). Dalla documentazione ritrovata fortunatamente nello scantinato dell'Istituto di Fisica si rileva che l'elettrometro di Perucca fu ordinato da Segrè il 14 gennaio 1936, giorno immediatamente successivo a quello del suo giuramento. Lo strumento fu fornito dalla ditta Barletta al prezzo di lire 5100. Tra gli altri strumenti ordinati nei mesi successivi possiamo segnalare una pompa rotativa Simplex (Barletta, 1630 lire), un ponte universale (Belotti, 3960 lire), due ubi thyratron (CGE, 1410 lire), un elettrometro Luz-Edelmann (Marchiori, 3870 lire), un epidiascopio SACEOM, 3500 lire).

¹⁴ Le circostanze che determinarono lo svolgimento anomalo di questo concorso, che sarebbe stato vinto da Ettore Majorana se questi non fosse stato direttamente nominato dal ministro G. Bottai professore all'Università di Napoli "per alta e meritata fama", sono descritte da Segrè (1995), p. 164.

¹⁵ Per una storia più dettagliata v. Gambaro (1988).

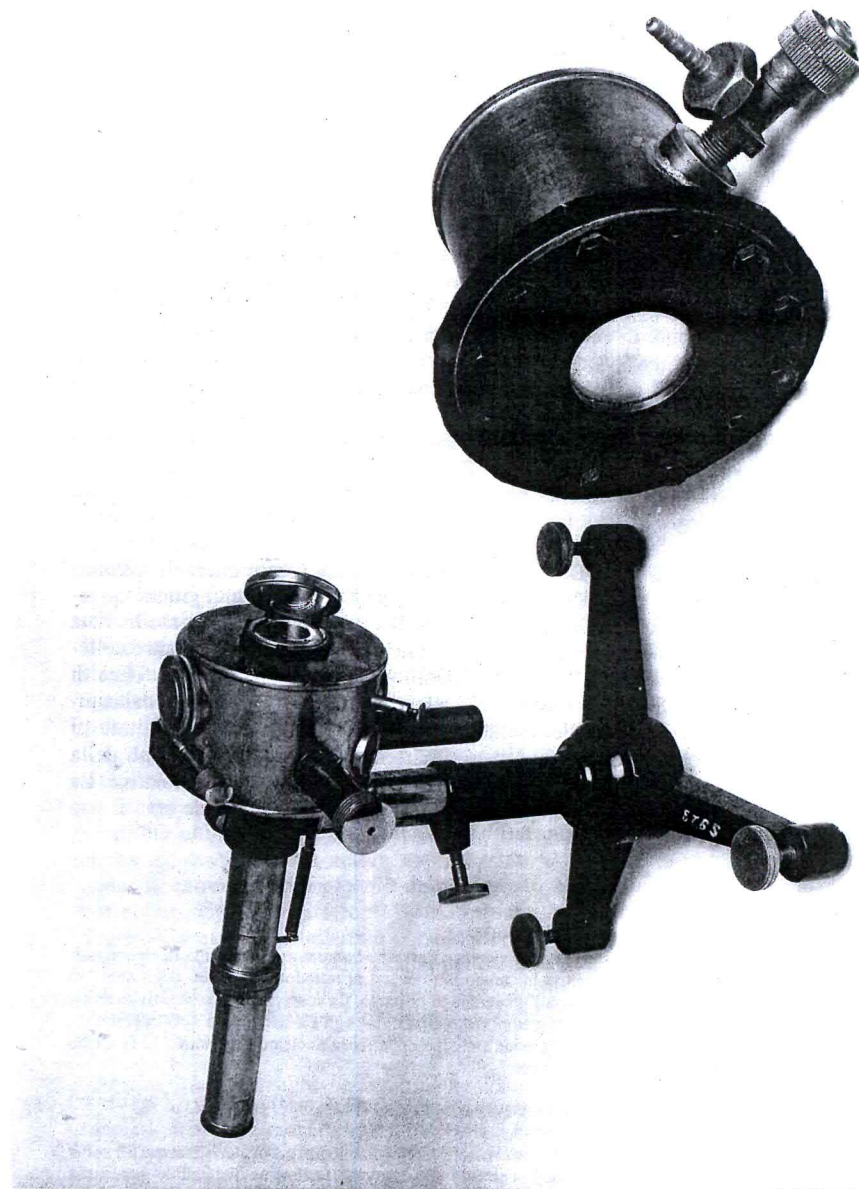


Fig. 1 - La camera di ionizzazione costruita da Segrè (a destra) insieme all'elettrometro di Perucca

ation.¹⁶ Lo stesso viaggio di Segrè a Berkeley era motivato essenzialmente dalla necessità di analizzare le prestazioni del ciclotrone in vista della costruzione di un acceleratore di particelle in Italia, mentre un altro dei collaboratori di Fermi, Edoardo Amaldi, si recava negli Stati Uniti nello stesso periodo, fermandosi sulla costa atlantica per studiare un altro tipo di macchina acceleratrice, il generatore Van de Graaff del *Department of Terrestrial Magnetism* della Carnegie Institution di Washington.¹⁷

Arrivato a Berkeley, Segrè rimase molto favorevolmente impressionato dalle prestazioni del ciclotrone e dalle potenzialità delle nuove tecniche per la produzione di radioisotopi. Egli seppe anche cogliere una preziosa opportunità per avviare un proprio programma di ricerca a Palermo, risolvendo il drammatico problema della mancanza di sorgenti radioattive. Sparsi nel laboratorio vi erano molti pezzi di metallo provenienti dalle strutture del ciclotrone, i quali, per effetto dell'irraggiamento, presentavano una forte radioattività, e Segrè chiese a Lawrence il permesso di prendere con sé alcuni di questi campioni per poterli analizzare nel suo laboratorio palermitano. Lawrence acconsentì di buon grado e così, all'inizio del nuovo anno accademico, Segrè tornò a Palermo portando con sé, insieme a vari semi di cactus per l'Orto Botanico, alcuni campioni di ottone e di rame ricchi di isotopi radioattivi. Per svolgere il lavoro di analisi, però, egli aveva bisogno della competenza di un bravo chimico analitico e lo trovò in Carlo Perrier, professore di Mineralogia e direttore dell'omonimo istituto situato al secondo piano dello stesso edificio che ospitava l'istituto di fisica. Segrè lo ricorda come "un vero gentiluomo piemontese, devoto a Giolitti e antifascista".¹⁸

I pezzi del ciclotrone di Berkeley si rivelarono "una vera miniera di sostanze radioattive."¹⁹ Le analisi rivelarono, in particolare, la presenza di una grande quantità dell'isotopo 32 del fosforo (P^{32}), il quale poté essere separato facilmente in vista di un possibile uso in campo biologico.²⁰ Per questo Segrè si rivolse a un altro collega palermitano, il professore di Fisiologia Camillo Artom, il quale fu ben felice di insegnare la tecnica dei traccianti radioattivi e suggerì di usare il P^{32} ricavato dai campioni di Berkeley per lo studio del metabolismo dei fosfolipidi presso l'Istituto di fisiologia. Lo stesso Artom, insieme al suo assistente G. Sarzana, si occupò della arte biochimica mentre Segrè, Perrier e Santangelo fecero le misure radioattive. La cerca di gruppo, già felicemente sperimentata da Segrè a Roma, fece così il suo ingresso a Palermo.²¹

¹⁶ La storia del Radiation Laboratory (oggi Lawrence Berkeley Laboratory) è descritta in Heilbron & Sidel (1989). L'uso di traccianti radioattivi in campo bio-medico fu introdotto all'inizio degli anni '30 dal chimico ungherese György von Hevesy all'università di Friburgo. La scoperta della radioattività artificiale e la possibilità di creare in laboratorio isotopi radioattivi di tutti gli elementi della Tavola Periodica fece decollare questo settore di ricerca, e il grande sviluppo della fisica nucleare negli anni '30 fu anche dovuto a questo particolare interesse applicativo.

¹⁷ Heilbron (1986), Gambaro (1993).

¹⁸ Segrè, (1995), p. 140. Per una biografia di Perrier, v. Panichi (1949).

¹⁹ Segrè (1995), p. 150.

²⁰ Il fosforo, come è noto, è un elemento chiave nei processi fisiologici e l'uso dell'isotopo 32 come tracciante fu introdotto da Hevesy subito dopo che esso era stato reso facilmente disponibile grazie alla tecnica del bombardamento neutronico introdotta da Fermi. Cfr. Hevesy (1938).

²¹ Artom et al. (1937a-d).

Incoraggiato dai primi risultati, Segrè scrisse a Lawrence, pregandolo di spedire altri campioni irradiati nel ciclotrone. Il fisico americano acconsentì ancora una volta alla richiesta e così, il 6 gennaio 1937, una lastrina di molibdeno e alcuni pezzettini di rame provenienti dal ciclotrone di Berkeley arrivarono a Palermo all'interno di una lettera di auguri per il nuovo anno inviata a Segrè da Lorenzo Emo Capodilista, un fisico italiano trasferitosi a Berkeley. Dopo avere aspettato alcune settimane per permettere il decadimento di tutti gli isotopi a vita breve, Segrè e Perrier si misero al lavoro per identificare le proprietà chimiche delle sostanze responsabili dei decadimenti a lunga vita presenti nella lastrina di molibdeno: "Abbiamo iniziato l'analisi del molibdeno", scrive entusiasta Segrè a Lawrence il 7 febbraio, e aggiunge: "Il ciclotrone dimostra di essere una specie di gallina dalla uova d'oro."²²

Sulla base delle conoscenze teoriche circa le reazioni nucleari indotte nel molibdeno dal bombardamento di neutroni o deutoni, l'attività presente nel campione poteva essere attribuita a isotopi radioattivi dello stesso molibdeno, dello zirconio, del niobio (o columbio) e dell'elemento di numero atomico 43. È proprio su quest'ultimo che si concentrarono le attenzioni dei due ricercatori palermitani, dopo che le analisi chimiche li portarono ad escludere le prime tre possibilità. L'elemento 43 della Tavola Periodica rappresentava per molti versi un mistero. La sua scoperta era stata annunciata nel 1925 da una coppia di ricercatori tedeschi, Walter Noddack e Ida Tacke Noddack, i quali sostenevano di avere identificato questo elemento, insieme a quello di numero atomico 75, nei minerali di platino e nella columbite. I due elementi, che dovevano avere proprietà chimiche molto simili, trovandosi nella stessa colonna della Tavola Periodica, furono chiamati rispettivamente masurio e renio, in riferimento ai confini orientale ed occidentale della Germania. L'affidabilità di tali esperimenti fu però contestata da alcuni ricercatori, mentre altri rivendicarono la priorità della scoperta. Lavori successivi consentirono poi ai Noddack di confermare i risultati ottenuti per il renio e di isolare quantità macroscopiche di tale sostanza. La chimica del masurio, al contrario, rimase praticamente sconosciuta e la sua scoperta oggetto di controversia, anche se, ancora nel 1935, gli *Annual Reports on the Progress of Chemistry* attribuivano ai Noddack la scoperta dell'elemento 43.²³

Dopo avere concentrato e separato la sostanza responsabile della radioattività, Perrier e Segrè studiarono in dettaglio alcune delle sue proprietà chimiche, in particolare le reazioni di ossido-riduzione e la volatilità. Com'era da aspettarsi, le proprietà chimiche dell'elemento 43 risultarono molto simili a quelle del renio, anche se, avvertono gli autori, avendo usato il renio stesso come trascinatore di quantità estremamente piccole dell'elemento 43, alcune delle reazioni descritte potrebbero risultare differenti usando quantità ponderabili. Nello stesso tempo, Segrè e Cacciapuoti studiarono la radioattività del precipitato al fine di identificare i diversi isotopi presenti. Dall'analisi delle curve di decadimento e delle caratteristiche di assorbimento della radiazione, essi conclusero, con qualche cautela, che questa conteneva tre diverse componenti, con tempi di dimezzamento rispettivamente

²² Cit. in Gambaro (1988), p. 192. Copia della corrispondenza tra Segrè e Lawrence si trova nel fondo Lawrence presso la Bancroft Library dell'Università di Berkeley.

²³ Carter et al (1935). Segrè ricorda nella sua autobiografia (p. 171, n. 12) che, oltre che masurio, l'elemento 43 fu chiamato in vari altri modi dai diversi "scopritori": illinio, davyo, lucio e nipponio. Nella loro prima breve nota, Perrier e Segrè (1937a) qualificarono l'elemento 43 come il "masurio di I. e W. Noddack", ma tale denominazione non venne più usata nell'articolo successivo (1937b).

pari a 50, 80 e 90 giorni.²⁴ Il problema, a questo punto, era quello di chiarire se i ricercatori palermitani avevano trovato degli isotopi radioattivi dell'elemento 43, o se invece questi ultimi si erano sbagliati, come molti sospettavano, nel qual caso i risultati di Perrier e Segrè avrebbero rappresentato la prima evidenza sperimentale dell'esistenza di tale elemento. Segrè decise di verificare di persona il lavoro dei due fisici tedeschi e nell'estate del 1937, tornando da una conferenza scientifica a Copenhagen, si recò a Friburgo dove i Noddack avevano il loro laboratorio. Qui incontrò Walter Noddack al quale chiese di vedere le lastre su cui erano stati registrati gli spettri a raggi X del masurio. La risposta fu che si erano rotte accidentalmente e che non era possibile farne delle altre per motivi che non risultarono chiari al visitatore italiano. In definitiva, Segrè si convinse che i Noddack stessi non erano sicuri della loro scoperta, convinzione che fu rafforzata quando, poche settimane più tardi, li vide arrivare a Palermo, con un seguito di assistenti, per prendere visione dei suoi risultati.²⁵

Pur essendo ormai sicuri che l'elemento 43 era stato effettivamente scoperto a Palermo, Perrier e Segrè resistettero alla tentazione di dargli un nome, malgrado le sollecitazioni ricevute affinché ne proponessero uno che celebrasse il fascismo o la Sicilia (trinacrio). Da un lato, essi volevano evitare polemiche su questioni di priorità, dall'altro, volevano essere sicuri essi stessi che l'elemento 43 fosse effettivamente presente nel molibdeno irradiato. Il loro lavoro, infatti, era stato fatto con quantità infinitesime di sostanza, sufficiente per le analisi alla scala dei traccianti ma non abbastanza per procedere con l'unico metodo riconosciuto come affidabile, cioè a spettroscopia a raggi X.

Durante tutto il 1937, la "manna di Berkeley" continuò ad attraversare gli Stati Uniti e l'oceano Atlantico, sotto forma di pezzetti di metallo irradiato al ciclone inseriti all'interno delle lettere che Emo Capodilista inviava a Palermo. Ciò permise a Segrè e ai suoi collaboratori di sviluppare le loro ricerche e ottenere nuovi risultati.²⁶ Nello stesso tempo, Segrè pensò di utilizzare l'ottimo rapporto con i ricercatori americani per avviare un nuovo programma di ricerca sulla stessa linea del lavoro fatto a Roma. Nell'autunno del 1937 egli spedì a Berkeley un pacchetto contenente campioni di varie sostanze, in particolare ossidi di uranio e di torio, da irradiare con i neutroni prodotti in grande quantità al ciclotrone. Il progetto era quello di studiare elementi transuranici ed altri radioisotopi a vita lunga creati per effetto del bombardamento neutronico.²⁷

Al termine dell'anno accademico 1937-38 Segrè decise di recarsi ancora una volta a Berkeley, con l'intenzione di studiare gli isotopi a vita breve dell'elemento 43, quelli cioè che non potevano conservare la radioattività per il tempo necessario

²⁴ Perrier & Segrè (1937a-c); Cacciapuoti & Segrè (1937) e (1938). Come è noto, le proprietà chimiche di un elemento dipendono soltanto dal suo numero atomico mentre isotopi diversi dello stesso elemento presentano proprietà fisiche diverse, in particolare per quanto riguarda la radioattività.

²⁵ Segrè (1995), pp. 153-154. Segrè ricorda anche di avere ricevuto a quel tempo una lettera di G. von Hevesy nella quale venivano sollevati molti dubbi sulla validità dei risultati dei Noddack relativi all'elemento 43.

²⁶ Perrier & Segrè (1938a-b) e (1939); Cacciapuoti (1938a-b) e (1939); Perrier *et al.* (1938); Barresi Cacciapuoti (1939). L'espressione "manna di Berkeley" fu usata da Segrè in una lettera a Lawrence del gennaio 1938. Cfr. Gambaro (1988), p. 193.

²⁷ Segrè (1995), pp. 155 e 165-166. Il lavoro del gruppo di Fermi era basato sull'uso di neutroni prodotti a partire da sostanze radioattive.

al viaggio dalla California alla Sicilia. Ottenuto, non senza difficoltà, un visto per gli Stati Uniti, egli sbarcò a New York il 15 luglio 1938 e dopo pochi giorni prese il treno per San Francisco, contando di tornare a Palermo in Ottobre. Alla stazione di Chicago, ricorda Segrè nella sua autobiografia, lesse in un giornale "una breve ma agghiacciante notizia sul *Manifesto della razza*".²⁸ Da Berkeley continuò a seguire con sempre maggiore preoccupazione le notizie dall'Italia e dall'Europa straziata dalla crisi cecoslovacca. In quanto ebreo, la sua carriera universitaria in Italia era finita; il suo futuro e quello di sua moglie, anch'essa ebrea, si presentava oscuro nell'Italia fascista, sempre più succube della Germania hitleriana e trascinata in una guerra che sembrava ormai inevitabile. Dopo un lungo periodo di incertezza e di angoscia, egli scrisse alla moglie, sollecitandola a chiudere casa a Palermo e imbarcarsi al più presto per gli Stati Uniti. Nei primi giorni di ottobre la famiglia Segrè cominciò una nuova vita a Berkeley.²⁹

Fu a Berkeley che la vicenda dell'elemento 43 arrivò a conclusione. Subito dopo il suo arrivo, infatti, Segrè cominciò a studiare gli isotopi a vita breve prodotti nel ciclotrone, in collaborazione con il chimico Glenn Seaborg. Questo studio permise di dimostrare l'esistenza di un isotopo dell'elemento 43 con una vita media di circa 6 ore e di spiegarne le proprietà di decadimento sulla base del fenomeno dell'isomerismo nucleare, ossia un nucleo con stati eccitati a vita lunga.³⁰ Questi nuovi risultati portarono Segrè, per la prima volta, a rivendicare la priorità della scoperta dell'elemento 43, sottolineando allo stesso tempo che il ciclotrone di Berkeley era la sola "miniera" in cui era possibile trovarlo.³¹ Quest'ultima affermazione trovava la sua giustificazione in un articolo pubblicato in quello stesso periodo dal tedesco Johannes H. Jensen, nel quale, sulla base di considerazioni teoriche, si escludeva la presenza in natura di isotopi stabili dell'elemento 43.³² Ricerche successive confermarono i risultati di Perrier e Segrè sulla chimica dell'elemento 43, confermando altresì che questo non può esistere in natura in quanto tutti i suoi isotopi sono instabili e decadono in tempi molto più brevi della vita della terra. Ovviamente il nome masurio non era più giustificato, e nel 1947, Friedrich Paneth, un chimico austriaco che aveva collaborato con G. von Hevesy nei lavori pionieristici sui traccianti radioattivi, suggerì che i veri scopritori proponessero un nuovo nome. Accogliendo l'invito, Perrier e Segrè proposero *tecnecio* (dal greco τεχνητοζ), per sottolineare il fatto che si trattava del primo elemento chimico fabbricato in laboratorio.³³ Come è noto, l'unico isotopo del tecnecio che è stato possibile produrre su scala macroscopi-

²⁸ Segrè (1995), p. 178. Il cosiddetto "Manifesto degli scienziati razzisti" fu pubblicato il 14 luglio 1938 a firma di un gruppo di intellettuali e docenti universitari fascisti, facendo da prelude alla promulgazione delle leggi razziali. Cfr. De Felice (1988), pp. 235-343 e 555-557.

²⁹ Come è noto, in seguito alle leggi razziali anche Fermi, la cui moglie era ebrea, decise di lasciare l'Italia e si recò negli Stati Uniti nel dicembre 1938, subito dopo la cerimonia di consegna del premio Nobel a Stoccolma. Il prezzo pagato dalla comunità scientifica italiana alla follia razzista del regime fu altissimo. Cfr. a questo proposito Nastasi (1991).

³⁰ Seaborg & Segrè (1939).

³¹ Segrè (1939).

³² Jensen (1938).

³³ Paneth (1947); Perrier & Segrè (1947). Oltre al tecnecio e ai transuranici, altri tre elementi chimici sono stati "costruiti" nei laboratori di fisica nucleare: il prometio (numero atomico 61), l'astato (numero atomico 85) ed il francio (numero atomico 87). Va detto comunque che quantità infinitesime di tecnecio provenienti dalla fissione dell'uranio si possono trovare in natura, e sono state infatti osservate con tecniche particolarmente sofisticate.

fisici seppero cogliere l'opportunità per avviare un nuovo programma di ricerca e fare rinascere la fisica palermitana.

L'avvio del programma di ricerca in fisica dello stato solido

La rinascita della fisica palermitana negli anni '50 si deve principalmente all'impegno di quattro persone. Il primo è Donato Palumbo (n. 1921), un giovane fisico teorico siciliano formatosi alla Scuola Normale di Pisa. Palumbo era tornato in Sicilia all'inizio di luglio 1943 per le vacanze estive, avendo completato tutti gli esami e la tesi; lo sbarco anglo-americano in Sicilia e la successiva campagna d'Italia gli impedirono però di tornare a Pisa per laurearsi nella sessione autunnale. Egli ottenne eccezionalmente di potere fare l'esame di laurea a Palermo all'inizio del 1944, avviando quindi nel capoluogo siciliano la sua carriera scientifica. Nel 1945 Palumbo ottenne una borsa di studio per recarsi a Parigi, dove seguì i corsi del fisico Louis de Broglie e del matematico Jacques Hadamard. Tornato a Palermo l'anno successivo, egli divenne assistente di Medi e incaricato dei corsi di Elettrochimica e Spettroscopia; quindi, dal 1951 al 1955, fu incaricato del corso di Fisica Teorica. A Palumbo va soprattutto il merito di avere stimolato e orientato l'interesse per la ricerca tra i pochi laureati che frequentavano l'Istituto di Fisica nei primissimi anni del dopoguerra, fornendo il contributo di una solida preparazione teorica ai primi lavori sperimentali. Inoltre, i buoni rapporti di amicizia che egli aveva stabilito negli anni della Scuola Normale con alcuni dei futuri protagonisti della fisica italiana aiuteranno non poco i giovani ricercatori palermitani a uscire dall'isolamento in cui si trovavano. L'ambiente siciliano, però, stava stretto al giovane ex-normalista e così, all'inizio del 1958, dopo avere passato un anno a Bristol con una borsa di studio, Palumbo fu ben felice di lasciare definitivamente Palermo per andare a dirigere il programma per la fusione nucleare applicata di cui Medi era diventato vice-presidente.

Il secondo protagonista di questa fase della storia della fisica palermitana è Mariano Santangelo (1908-1970). Questi, come si ricorderà, aveva lavorato con Segrè nel 1936-37, lasciando quindi l'università di Palermo dopo aver vinto un concorso per l'insegnamento nei licei. In seguito, grazie ad un comando presso l'Istituto Nazionale di Geofisica, Santangelo aveva ritrovato un impegno attivo nella ricerca, collaborando con il gruppo romano di Gilberto Bernardini ed Ettore Pancini nello studio dei raggi cosmici e quindi, nel dopoguerra, occupandosi di radioattività terrestre. Il suo ritorno a Palermo, all'inizio degli anni '50, fu sollecitato da Medi, il cui nuovo impegno alla direzione dell'Istituto di Geofisica rendeva ancora più irregolare a sua presenza nel capoluogo siciliano. A Palermo, Santangelo fu incaricato dei corsi di Fisica Sperimentale e di Spettroscopia, avendo inoltre il compito di dirigere l'Istituto, organizzare la didattica e seguire le tesi di laurea.³⁸ Nel 1955 egli vinse il concorso per la cattedra che era stata di Segrè vent'anni prima, continuando a dirigere l'Istituto di Fisica fino al 1965, quando si trasferì all'Università di Modena. San-

³⁸ Va ricordato che, oltre ai pochi studenti di fisica, vi era un grandissimo numero di studenti iscritti al corso di laurea in Matematica e Fisica, abolito all'inizio degli anni '60. Inoltre il corso di Fisica Sperimentale era in comune per gli studenti di Fisica, Chimica, Matematica ed Ingegneria.

tangelo riportò nella fisica palermitana la tradizione di ricerca sperimentale che era nata con Blaserna negli anni Sessanta dell'Ottocento ed aveva brillato per breve periodo al tempo di Segrè. Più anziano dei suoi colleghi palermitani, dotato di maggiore esperienza scientifica e di buone capacità manageriali, Santangelo favorì la creazione di un ambiente intellettuale adatto per la formazione della nuova generazione di ricercatori e l'avvio di un nuovo programma di ricerca. Negli anni in cui la fisica palermitana ricostruiva una propria identità nel panorama scientifico nazionale, egli garantì all'Istituto la stabilità e il prestigio indispensabili per ottenere finanziamenti adeguati e realizzare le necessarie infrastrutture.³⁹

Nel contesto delle condizioni create da Palumbo e Santangelo, e con il loro contributo di sapere e di esperienza, poté svilupparsi con successo il lavoro degli altri due protagonisti della storia più recente della fisica palermitana, Ugo Palma (n. 1927) e Beatrice Vittorelli (n. 1930), quest'ultima divenuta signora Palma nel 1952. Ad essi si deve la realizzazione di un moderno laboratorio di ricerca e l'avvio di un programma scientifico nel campo della fisica dello stato solido sul quale si formerà un'intera generazione di fisici palermitani. Dotati entrambi di forte personalità e animati da una grande volontà di riuscita, Ugo e Beatrice Palma diedero vita ad una scuola che, nei suoi sviluppi e nelle successive articolazioni, resterà egemone nel panorama della fisica palermitana per oltre un ventennio. Dall'inizio degli anni '50 fino alla fine del decennio successivo l'Istituto di Fisica sarà per molti, dentro e fuori l'università, a Palermo come altrove, "l'Istituto dei Palma". Al loro lavoro sarà quindi dedicata gran parte delle pagine che seguono.⁴⁰

Quale fisica fare a Palermo? Una volta superata la fase più drammatica del dopoguerra, il problema si pose con urgenza a Palumbo e Palma, quest'ultimo laureatosi nel 1947 e deciso a intraprendere la carriera scientifica universitaria. L'Istituto, come sappiamo, disponeva di una buona strumentazione ottica e ciò avrebbe permesso l'avvio di un programma di ricerca nel campo della spettroscopia. Alcuni passi furono compiuti in questa direzione, infatti, e se ne trovano le tracce in due tesi di laurea a carattere sperimentale, ma la strada fu presto abbandonata.⁴¹ Si trattava infatti di un settore di ricerca vecchio ormai di un secolo e largamente praticato in molti istituti di fisica, nel quale sarebbe stato difficile ottenere risultati originali in mancanza di una buona preparazione di base e di una consolidata tradizione di ricerca. Decisamente più attuale e più stimolante si presentava la fisica dei raggi cosmici, la quale aveva anche il vantaggio di occuparsi di un fenomeno che non occorreva ricreare in laboratorio (la radiazione cosmica "piove" continuamente dal cielo) e che poteva essere studiato con tecniche sperimentali basate sull'uso di emulsioni fotografiche, relativamente semplici e poco costose. La fisica dei raggi cosmici era però il terreno più promettente dal punto di vista scientifico e quindi il più frequentato dalla nuova generazione di fisici sperimentali italiani; ben difficilmente un piccolo gruppo di neofiti palermitani

³⁹ È opportuno ricordare che, oltre a contribuire allo sviluppo del programma di ricerca sul paramagnetismo di cui si dirà nel seguito, Santangelo continuò a Palermo i suoi studi sulla radioattività terrestre, misurando in particolare la radioattività delle lave dell'Etna, in collaborazione con Palumbo e con due giovani laureate palermitane, Lidia Barbera e Maria Curatolo. Cfr. Barbera *et al.* (1952) e (1953).

⁴⁰ Per maggiori dettagli cfr. Palma & Palma (1988).

⁴¹ Le due tesi, aventi per argomento lo studio spettroscopico dell'effetto Zeeman furono realizzate da M. Curatolo e C. Cuccia, quest'ultima divenuta in seguito moglie di Palumbo.

avrebbe potuto reggere il confronto con ricercatori formati alle scuole di Enrico Fermi e di Bruno Rossi.⁴²

Sulla base di queste considerazioni, Palumbo suggerì infine un programma di ricerca fondato sull'uso delle nuove tecniche a microonde, concentrandosi in particolare sullo studio delle sostanze paramagnetiche mediante la risonanza di spin elettronico.⁴³ Questa tecnica, nota anche come risonanza paramagnetica elettronica (EPR), era stata introdotta nel 1945 da un ricercatore sovietico, E. Zavoisky, e si era diffusa molto rapidamente nel dopoguerra, insieme all'analoga risonanza magnetica nucleare (NMR), grazie all'enorme sviluppo dell'elettronica e della fisica delle microonde indotto dalle ricerche belliche sul radar.⁴⁴ Nell'opinione di un autorevole storico della fisica contemporanea: "Se dovessimo scegliere la tecnica sperimentale più pervasiva nella ricerca fisica del dopoguerra, non credo possa esserci dubbio sul fatto che questa sia la tecnica della risonanza magnetica".⁴⁵ Nel corso degli anni '50 la tecnica EPR trovò applicazione in vari campi della fisica, della chimica e della biologia, contribuendo in particolare al rapidissimo sviluppo della fisica dello stato solido.⁴⁶ La scelta di questo particolare settore di ricerca da parte dei fisici palermitani fu dettata da una triplice considerazione. In primo luogo, si trattava di un campo di indagine sperimentale che non richiedeva attrezzature particolarmente sofisticate e vaste conoscenze teoriche. Esso era inoltre sufficientemente nuovo da permettere l'ottenimento di risultati originali anche in assenza di una tradizione consolidata. Infine, era possibile attivare forme di collaborazione con altri gruppi di ricerca italiani che in quegli anni cominciavano ad impegnarsi sullo stesso terreno.⁴⁷

Il nuovo programma di ricerca fu avviato nel 1950, a partire dalla tesi di laurea di Vittorelli (relatore Palumbo), svolta in stretta collaborazione con Palma. Dopo avere passato in rassegna la letteratura scientifica sull'uso delle microonde per lo studio del paramagnetismo, Vittorelli e Palma cominciarono a mettere a punto un primo sistema sperimentale, utilizzando un piccolo elettromagnete esistente nell'istituto e un klystron acquistato in un mercato di residuati dell'esercito americano.⁴⁸ Un contributo del CNR consentì quindi a Palma di recarsi per alcune settimane presso il Centro Microonde del CNR, a Firenze, e permise il completamento dell'apparato

⁴² La tecnica delle emulsioni fotografiche era peraltro familiare a Santangelo e non mancò un'incuriosione nel campo della fisica dei raggi cosmici da parte dei fisici palermitani: cfr. Curatolo *et al.* (1954).

⁴³ Una prima testimonianza dell'interesse per la fisica delle microonde a Palermo si trova in una corposa tesi di laurea a carattere compilativo sull'argomento, realizzata da E. Picone nell'anno accademico 1949-50.

⁴⁴ Zavoisky (1945). Una rassegna della spettroscopia a microonde negli anni '40 si trova in Freymann *et al.* (1948). Sullo ruolo della tecnologia radar nello sviluppo di alcune discipline scientifiche nel dopoguerra, cfr. Forman (1987), (1992) e (1995), Bromberg (1991) e Lenoir & Lécuyer (1995).

⁴⁵ Forman (1995), p. 428.

⁴⁶ Bleaney & Stevens (1953), Bowers & Owen (1955).

⁴⁷ La fisica delle microonde e le tecniche di risonanza magnetica formavano oggetto di nuovi programmi di ricerca presso le università di Pisa, Pavia e Torino. Inoltre, il Consiglio Nazionale delle Ricerche aveva creato a Firenze un Centro di studio per la fisica delle microonde, diretto da Nello Carrara. Cfr. Zonera & Rigamonti (1988) e Gozzini (1988).

⁴⁸ M. B. Vittorelli, *Applicazione della tecnica delle microonde allo studio del paramagnetismo*, tesi di laurea in fisica, Università di Palermo, a.a. 1950-51. L'importanza dei residuati di guerra per la ripresa dell'attività sperimentale negli istituti di fisica italiani è testimoniata da Gozzini (1988), p. 68, e Amaldi (1979), p. 198. Il materiale veniva gestito dalla A.R.A.R. (Azienda Rilievo e Alienazione Residuati). Per gli Stati Uniti e gli altri paesi cfr. Forman (1995), p. 412-413.

sperimentale, "superando non poche difficoltà, stante la scarsità della apparecchiatura generale di elettronica esistente a quell'epoca e la totale inesistenza di componenti di linee a microonde".⁴⁹ Con questo apparato furono effettuate tra il 1952 e il 1953 le prime misure di risonanza paramagnetica su sali di rame e di vanadio, tanto a temperatura ambiente che alla temperatura dell'aria liquida.⁵⁰

Alla fine del 1953, grazie a due borse di studio, Palma e Vittorelli, ormai marito e moglie, si recarono al *Research Laboratory of Electronics* del Massachusetts Institute of Technology (MIT), erede diretto del celebre *Radiation Laboratory* del periodo bellico, dove erano state sviluppate le ricerche sul radar con un sforzo intellettuale e finanziario di poco inferiore a quello dedicato alla costruzione della bomba atomica.⁵¹ Il soggiorno americano dei Palma, durato circa un anno, fu estremamente importante per i futuri sviluppi della fisica palermitana. Allo MIT, infatti, i due fisici palermitani furono ospitati nel laboratorio di Malcom W. Strandberg, uno dei maggiori esperti nel campo della spettroscopia a microonde, dove poterono continuare gli esperimenti già avviati a Palermo e impadronirsi delle tecniche sperimentali più avanzate.⁵² Essi, inoltre, ebbero l'opportunità di conoscere e frequentare, alla vicina università di Harvard, John H. Van Vleck, uno dei più brillanti teorici della fisica dello stato solido. Infine, in occasione di un congresso dell'American Physical Society, essi incontrarono Edoardo Amaldi, la figura di maggiore prestigio della fisica italiana e il principale artefice della sua ricostruzione nel dopoguerra.⁵³ L'impegno di Amaldi a promuovere lo sviluppo della fisica in Italia in modo equilibrato tra i diversi settori di ricerca e nelle diverse sedi universitarie lo portò a guardare con favore lo sforzo che si faceva a Palermo per affermare un'autonoma linea di ricerca. Egli si impegnò a sostenere tale sforzo, adoperandosi affinché il CNR concedesse i finanziamenti necessari per l'allestimento di un laboratorio rispondente alle aspettative e alle ambizioni della coppia di fisici palermitani.⁵⁴

Amaldi mantenne il suo impegno e così, tornando a Palermo alla fine del 1954, i Palma portavano non soltanto la preziosa esperienza acquisita nei laboratori americani ma anche un finanziamento di 20 milioni in due anni per realizzare il nuovo laboratorio per spettrometria EPR. L'apparecchiatura entrò in funzione nell'estate del 1957, consistendo essenzialmente in un grande elettromagnete costruito su progetto dei fisici palermitani dalla Società Ansaldo-San Giorgio, usando ferro speciale offerto gratuitamente dalla Società Terni, e in un sofisticato sistema a microonde (figura 2). Per le misure a basse temperature, l'istituto aveva acquistato inoltre un liquefattore di azoto capace di produrre fino a 3 litri all'ora di azoto liquido.⁵⁵

⁴⁹ Santangelo (1957), p. 2768.

⁵⁰ Palma-Vittorelli *et al.* (1953) e (1954).

⁵¹ Leslie (1993), pp. 20-32.

⁵² Palma-Vittorelli *et al.* (1955a), (1955b) e (1956).

⁵³ Amaldi (1979).

⁵⁴ Si può ricordare che proprio in quel periodo, su segnalazione di Santangelo, Amaldi aveva chiamato da Palermo a Roma un giovane laureato trapanese, "un po' selvatico ma intelligente", Antonino Zichichi, il quale fu inviato a lavorare sui raggi cosmici nel Laboratorio della Testa Grigia, sulle Alpi. Cfr. Amaldi (1979), pp. 211-212.

⁵⁵ Il laboratorio è descritto in dettaglio in Palma-Vittorelli & Palma (1958). Cfr. anche Santangelo (1957). Il contributo di Palumbo al sistema di rivelazione è riconoscibile nel lavoro teorico riportato in Palma-Vittorelli *et al.* (1957).

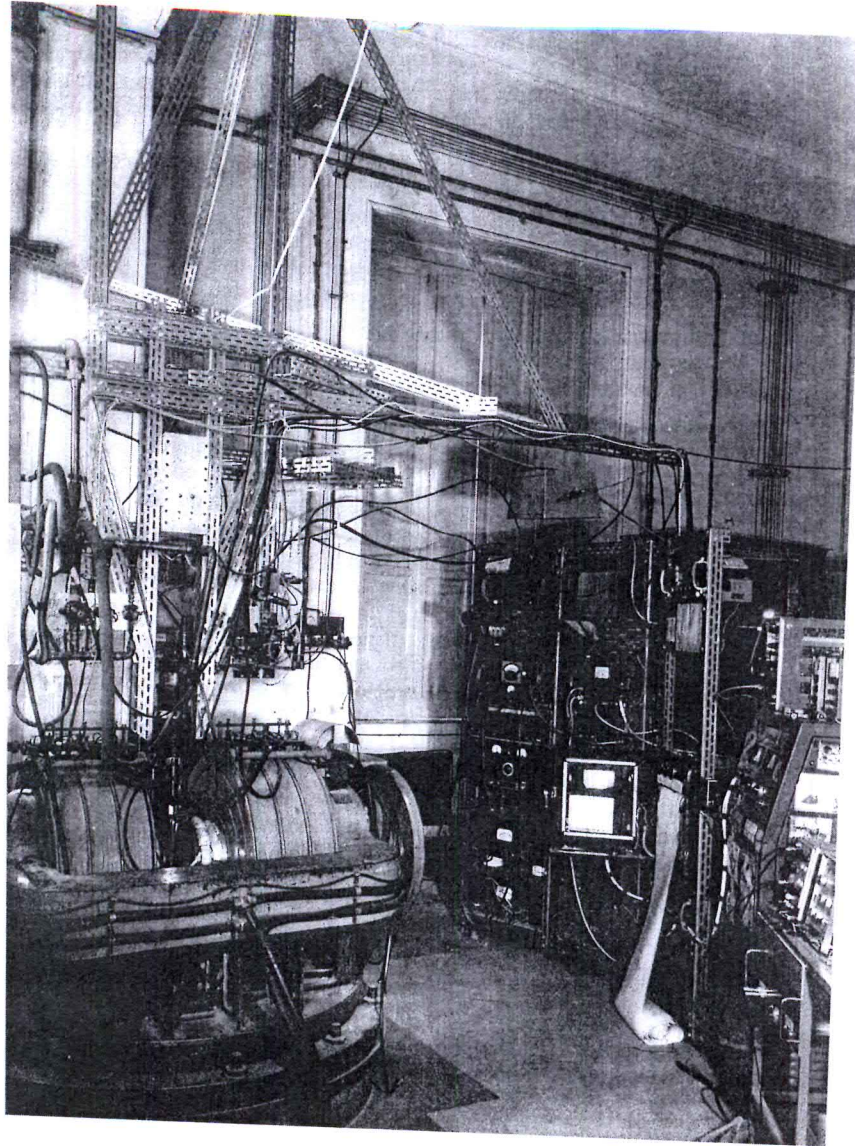


Fig. 2 - Il primo laboratorio di spettrometria EPR

Nei tre anni successivi il laboratorio fu arricchito di nuove attrezzature grazie ad ulteriori contributi del CRR e, soprattutto, ai generosi finanziamenti della Regione Siciliana, elargiti attraverso il nuovo Comitato Regionale per le Ricerche Nucleari (CRRN).⁵⁶ Con tali finanziamenti furono acquistati in particolare un liquefattore di elio e uno spettrografo Beckman, e furono inoltre potenziate le attrezzature dell'officina meccanica. L'istituto poté anche dotarsi di un laboratorio di chimica, di sofisticate apparecchiature elettroniche, di un apparato per cristallografia a raggi X e di una grande e moderna aula didattica. Un ulteriore importante aiuto arrivò dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), l'organizzazione creata nel 1951 su iniziativa di Amaldi e Gilberto Bernardini per promuovere la ricerca fondamentale nel campo della fisica nucleare e sub-nucleare. Pur non rientrando nel suo specifico campo di interesse, l'INFN decise di sostenere i programmi di ricerca dei fisici palermitani, fornendo personale tecnico in forza presso l'Istituto di Fisica e finanziando dei contratti di collaborazione scientifica.

Parallelamente alla crescita delle attrezzature sperimentali andava formandosi la nuova leva di ricercatori, alcuni dei quali vennero inviati a perfezionarsi presso importanti laboratori in Italia e all'estero, grazie ai buoni contatti scientifici stabiliti dai Palma in quel periodo.⁵⁷ La produzione scientifica dell'Istituto di Fisica poté così crescere e diversificarsi lungo varie linee di ricerca sulle proprietà della materia allo stato condensato, sia dal punto di vista sperimentale che teorico. Un elenco schematico degli studi condotti nell'arco degli anni '60 comprende il processo fotografico in cristalli di alogenuro d'argento; le proprietà magnetiche dei radicali liberi; la dinamica dei cristalli e delle transizioni di fase; le interazioni spin-fonone e i processi non lineari; la fisica delle molecole di interesse biologico.⁵⁸

Considerazioni conclusive

Alla fine degli anni '60 questa fase "eroica" di crescita della fisica palermitana può dirsi conclusa e non compete allo storico seguire ulteriori sviluppi che toccano ruoli ed attività di oggi. Ci limiteremo quindi ad alcune considerazioni conclusive. In primo luogo, va messo in evidenza il forte spirito di gruppo che ha animato i principali protagonisti di quella vicenda, la coppia Palma-Vittorelli e i loro primi allievi, impegnati a costruire quasi dal nulla una comunità scientifica e un programma di ricerca in una situazione di grave ritardo e di pesante marginalità. Questo senso di appartenenza, che si accompagna all'orgoglio per i risultati conseguiti, viene rivendicato con particolare vivacità nelle testimonianze autobiografiche e rappresenta tuttora un aspetto peculiare di quella parte dei fisici palermitani che a quella storia si richiama.⁵⁹

⁵⁶ Il CRRN fu creato nel 1957 per iniziativa dei fisici catanesi, e da allora ha avuto un ruolo di primo piano nel promuovere la ricerca fisica nelle tre università siciliane. La sua denominazione attuale è Comitato Regionale per le Ricerche Nucleari e di Struttura della Materia (CRRNSM). Cfr. Santangelo (1959).

⁵⁷ Vanno ricordati, tra i protagonisti di questa prima fase di ricerche nel laboratorio EPR, Ignazio Ciccarello, Franco Persico, Lorenzo Cordone e Leonardo Bellomonte.

⁵⁸ Per un'analisi dettagliata di questi sviluppi, con la relativa bibliografia, si rimanda a Palma & Palma (1988).

⁵⁹ Palma & Palma (1988).

La seconda considerazione, in un certo senso speculare rispetto alla precedente, riguarda il mancato radicamento in quegli anni di linee di ricerca diverse da quelle derivate direttamente dal primo laboratorio EPR. La collocazione periferica, il ristretto numero di studenti ed il relativo ritardo scientifico della fisica palermitana scoraggiavano il trasferimento a Palermo di docenti formati in altre sedi universitarie, condizione necessaria per la nascita di altre scuole e lo sviluppo di altri programmi di ricerca. Il caso della cattedra di Fisica Teorica, istituita, come si ricorderà, nella seconda metà degli anni '30 per iniziativa di Segrè, è sintomatico da questo punto di vista. Nel 1955-56 arrivò come titolare Fausto Fumi, pioniere degli studi teorici sulla fisica dello stato solido, seguito l'anno successivo da due suoi brillanti allievi all'università di Milano, Franco Bassani e Mario Tosi. Essi lasciarono l'università di Palermo dopo appena due anni, decidendo di proseguire altrove la loro carriera scientifica ed accademica.⁶⁰ Dopo Fumi, nel triennio 1960-63, la cattedra di Fisica Teorica fu occupata in successione da due esponenti di primo piano della nuova generazione di fisici delle particelle elementari, Luciano Fonda e Daniele Amati, il primo proveniente dal prestigioso *Institute of Advanced Studies* di Princeton e il secondo dal laboratorio europeo del CERN di Ginevra. Insieme ad Amati arrivò anche, in qualità di assistente, il torinese Alessandro Bottino, giovane collaboratore di Tullio Regge negli importanti lavori sulla teoria delle interazioni forti (poli di Regge). Nessuno di essi si stabilì a Palermo, considerata essenzialmente come sede di passaggio in vista del trasferimento presso università più prestigiose o comunque meno marginali; gli studenti che, con la tesi di laurea, avevano manifestato un interesse per la ricerca in fisica teorica delle particelle elementari furono scaggiati dal proseguire in questo campo la loro carriera accademica.⁶¹

Infine, la cattedra di fisica teorica fu occupata per alcuni anni dal torinese Renato Ascoli, studioso di teorie quantistiche, del quale furono allievi diversi laureati palermitani nella seconda metà degli anni '60. Al seguito di Ascoli vennero tre giovani assistenti, Alberto Giovannini, Ferdinando Gliozzi e Giancarlo Teppati, studiosi di teoria dei campi e di fisica delle particelle elementari. Intorno ad Ascoli si era formato un piccolo gruppo di ricercatori ma, anche in questo caso, la scelta di una condizione di pendolarismo e una certa difficoltà di rapporti con i colleghi palermitani impedirono alla "scuola di Ascoli" di consolidarsi, e i suoi allievi furono costretti alla diaspora.⁶²

Un'ultima considerazione va fatta riguardo alla didattica, fortemente orientata in quegli anni verso la formazione dei futuri ricercatori. Questa scelta fu dettata dall'esigenza di garantire lo sviluppo del programma scientifico e la copertura degli insegnamenti previsti dai piani di studio. Tale scelta, però, fu anche causa di una didattica fortemente selettiva ed elitaria, condizionata dal desiderio di coinvolgere

⁶⁰ Fumi tornò per breve tempo all'università di Palermo alla fine degli '60, dopo un lungo soggiorno negli Stati Uniti, trasferendosi successivamente all'Università di Genova.

⁶¹ Unica eccezione fu Salvatore Serio, che seguì Amati a Modena e quindi andò negli Stati Uniti per proseguire il dottorato. Tornato a Palermo alla fine degli anni '60, Serio si dedicò alla ricerca astrofisica con Giuseppe Vaiana, al quale succederà nella direzione dell'Osservatorio Astronomico.

⁶² Tra questi è giusto ricordare almeno Settimo Termini e Antonio Restivo, tornati come professori incaricati all'Università di Palermo dopo un lungo periodo di lavoro presso il Laboratorio di Cibernetica CNR di Napoli, ai quali si deve la nascita della scuola di informatica presso il Dipartimento di Matematica.

fin dal primo anno gli studenti più promettenti nello spirito di gruppo cui si è fatto riferimento. Questa circostanza, insieme alle caratteristiche di arretratezza del tessuto produttivo del bacino di utenza dell'università palermitana, ha contribuito a mantenere molto basso il numero degli studenti e dei laureati in fisica, anche dopo l'abolizione del corso di laurea in Matematica e Fisica all'inizio degli anni '60, rendendo impossibile il raggiungimento di quella massa critica della popolazione studentesca che, unitamente alla qualità della ricerca, è condizione necessaria per garantire la piena vitalità scientifica di un istituto universitario, la sua effettiva proiezione all'esterno e la sua competitività nel mondo accademico.⁶³

Per concludere, è opportuno accennare brevemente ai mutamenti che la fisica palermitana ha subito nel corso degli anni '70. Due fattori principali hanno contribuito a modificare l'assetto scientifico-istituzionale definitosi intorno all'originario programma di ricerca sul paramagnetismo. In primo luogo, le tensioni provocate dall'irrompere del movimento studentesco universitario, culminate in un lungo periodo di occupazione degli istituti della Facoltà di Scienze nella primavera del 1969. Al di là dell'agitazione dei temi generali di carattere politico-culturale, e delle rivendicazioni specifiche, l'occupazione portò drammaticamente alla luce la contraddizione tra la gestione "paternalistica" dell'Istituto di Fisica e del relativo corso di laurea, e le istanze antiautoritarie espresse dal movimento. Il carattere selettivo ed elitario degli studi di fisica, già presentato come segno di orgogliosa diversità rispetto ad altri modelli di insegnamento universitario, fu contestato aspramente nel momento in cui, nelle assemblee studentesche, si confrontavano esperienze e culture diverse, e si poneva l'esigenza di una riforma radicale del sistema universitario italiano. La stessa "religione della fisica" propugnata dai docenti formati alla scuola dei Palma si rivelava, agli occhi di molti studenti e di alcuni dei ricercatori più giovani, troppo segnata dal carattere relativamente monotematico dei programmi di ricerca dell'Istituto e incapace di sostenere la sfida culturale che veniva dalle discussioni sulla non neutralità della scienza, sulla responsabilità sociale degli scienziati, sul ruolo politico degli intellettuali.⁶⁴

Il secondo fattore di mutamento fu rappresentato dall'arrivo a Palermo di docenti formati in altre università e portatori di nuove linee di ricerca. Vanno ricordati, in particolare, Livio Scarsi, nuovo titolare della cattedra di Fisica Superiore, e Gaetano Ferrante, incaricato di Fisica Teorica dopo la partenza di Ascoli. Allievo di Giuseppe Occhialini a Milano, Scarsi si trasferì a Palermo alla fine del 1967, portando un ambizioso programma di ricerca nel campo della fisica dei raggi cosmici, in collegamento con il gruppo milanese di Occhialini e con alcuni gruppi europei impegnati nell'attività dell'Organizzazione Europea per la Ricerca Spaziale.⁶⁵ La nuova

⁶³ Nel decennio 1960 - 1969 si sono laureati in fisica a Palermo 54 studenti, con una media dei voti di laurea superiore a 106/110. Di questi, 39 (oltre il 72 %) hanno trovato sbocchi professionali nell'ambito dell'insegnamento universitario e della ricerca scientifica e 32 sono attualmente (1995-96) in servizio all'Università di Palermo. Il carattere fortemente selettivo del corso di laurea in fisica, soprattutto al primo anno, era ben noto negli ambienti liceali palermitani e scoraggiava molti dall'intraprendere tale corso di studi universitari.

⁶⁴ L'espressione "religione della fisica" si trova in Palma & Palma (1988), p. 161.

⁶⁵ La European Space Research Organization (ESRO) fu creata all'inizio degli anni '60 per iniziativa di scienziati di vari paesi europei impegnati nella ricerca spaziale. Da tale organizzazione sarebbe nata, nel 1975, l'attuale European Space Agency (ESA). Cfr. Krige & Russo (1994).

inea di ricerca, profondamente diversa nei contenuti e nelle tecniche sperimentali rispetto alla tradizione palermitana di fisica dello stato solido, attirò diversi studenti i quali furono subito introdotti in una nuova dimensione scientifica di grande respiro internazionale.⁶⁶ Analogamente, nuove prospettive di ricerca nel campo della fisica teorica furono introdotte da Ferrante, studioso di fisica atomica e di fisica del plasma, formatosi all'Università di Mosca e trasferitosi a Palermo nel 1970 dall'Università di Messina.

L'aumento del numero dei laureati indotto dalla liberalizzazione degli accessi universitari, la maggiore diversificazione dell'offerta scientifica, e l'esplicita rivincita di spazi istituzionali da parte delle nuove leve di docenti e ricercatori determinarono un lungo periodo di tensioni e conflitti che hanno portato, dopo il trasferimento di Scarsi e di Ferrante alla Facoltà di Ingegneria, all'emergere di un altro polo di ricerca della fisica palermitana presso il Dipartimento di Energetica ed Applicazioni di Fisica. Va ricordato infine che altri due poli di ricerca in fisica si trovano fuori dall'università, in due istituti del C.N.R. creati negli anni '70 per rispondere alle crescenti esigenze di sviluppo e di qualificazione scientifica delle principali aree di ricerca già consolidate in ambito universitario: l'Istituto di Fisica Cosmica Applicazione dell'Informatica, del quale Scarsi fu il primo direttore, e l'Istituto per Applicazioni Interdisciplinari della Fisica, del quale fu primo direttore U. Palma. Insieme di queste attività, cui si aggiungono le ricerche nel campo dell'astrofisica condotte presso l'Osservatorio Astronomico (di cui si parla altrove in questo volume), e quelle nel campo della fisica medica e sanitaria condotte presso la Facoltà di Medicina, rendono oggi il panorama della fisica palermitana sufficientemente ricco e diversificato, animato dal lavoro di molti ricercatori operanti in vari settori di ricerca, e riconosciuto quale componente importante del patrimonio scientifico nazionale europeo.

⁶⁶ Va ricordato in particolare il contributo palermitano al satellite per gamma-astronomia COS-B, reo per conto dell'ESA da una collaborazione di 6 laboratori in 4 paesi europei e lanciato nel 1975.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1984)

La ristrutturazione delle scienze tra le due guerre mondiali, a cura di G. Battimelli, M. De Maria e A. Rossi, Roma: La Goliardica, 1984.

AA.VV. (1989)

The restructuring of physical sciences in Europe and the United States, 1945-1960, edited by M. De Maria, M. Grilli, F. Sebastiani, Singapore: World Scientific, 1989.

Amaldi (1979)

E. AMALDI, *Gli anni della ricostruzione*, in "Il giornale di fisica", 20 (1979), 186-225. Anche *The years of reconstruction*, in "Scientia", 114 (1979), 51-68.

Amaldi (1984a)

E. AMALDI, *Neutron work in Rome in 1934-36 and the discovery of uranium fission*, in "Rivista di storia della scienza", 1:1 (1984), 1-24.

Amaldi (1984b)

A. AMALDI, *From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission*, in "Physics Reports", 111:1-4 (1984), 1-332.

Artom et al. (1937a)

C. ARTOM, G. SARZANA, C. PERRIER, M. SANTANGELO, E. SEGRE', *Rate of 'organification' of phosphorus in animal tissues*, in "Nature", 139 (1937), 836-837.

Artom et al. (1937b)

C. ARTOM, G. SARZANA, C. PERRIER, M. SANTANGELO, E. SEGRE', *Phospholipid synthesis during fat absorption*, in "Nature", 139 (1937), 1105-1106.

Artom et al. (1937c)

C. ARTOM, G. SARZANA, C. PERRIER, M. SANTANGELO, E. SEGRE', *Velocità di organificazione del fosforo nei diversi tessuti animali*, in "La Ricerca scientifica", 8:1 (1937), 216-219.

Artom et al. (1937d)

C. ARTOM, G. SARZANA, C. PERRIER, M. SANTANGELO, E. SEGRE', *Influenza della natura della dieta sulla velocità di sintesi dei fosfolipidi nei differenti tessuti*, in "La Ricerca scientifica", 8:2 (1937), 193-199.

Barbera et al. (1952)

L. BARBERA, M. CURATOLO, M.M. INDOVINA-ADDARIO, M. SANTANGELO, *Studio della radioattività delle lave dell'Etna col metodo delle emulsioni nucleari*, in "Annali di geofisica", 5 (1952), 603-611.

Barbera et al. (1953)

L. BARBERA, M. CURATOLO, M.M. INDOVINA-ADDARIO, D. PALUMBO, M. SANTANGELO, *Radioattività di una lava etnea. Studio quantitativo*, in "Annali di geofisica", 6 (1953), 161-172.

Barresi & Cacciapuoti (1939)

G. BARRESI, B. CACCIAPUOTI, *Isotopi radioattivi a vita lunga del cobalto*, in "La Ricerca Scientifica", 10 (1939), 464-466.

Bleaney & Stevens (1953)

B. BLEANEY, K.W.H. STEVENS, *Paramagnetic resonance*, in "Reports on progress in physics", 16 (1953), 108-159.

- Bonera & Rigamonti (1988)**
G. BONERA, A. RIGAMONTI, *Magnetic resonance spectroscopy in Pavia under Luigi Giulotto: 1945-1960*, in Giuliani ed. (1988), pp. 49-65.
- Bowers & Owen (1955)**
K.D. BOWERS, J. OWEN, *Paramagnetic resonance II*, in "Reports on progress in physics", 18 (1955), 304-373.
- Bromberg (1991)**
J.L. BROMBERG, *The laser in America 1950-1970*, Cambridge & London: MIT Press, 1991.
- Cacciapuoti (1938a)**
B. CACCIAPUOTI, *Determinazione della costante di decadimento del P^{32}* , in "Il Nuovo Cimento", 15 (1938), 213-219.
- Cacciapuoti (1938b)**
B. CACCIAPUOTI, *Radioattività indotta dai deutoni nel molibdeno*, in "Il Nuovo Cimento", 15 (1938), 425-426.
- Cacciapuoti (1939)**
B. CACCIAPUOTI, *Radioactive isotopes of element 43*, in "The Physical Review", 55 (1939), 110.
- Cacciapuoti & Segrè (1937)**
B. CACCIAPUOTI, E. SEGRÈ, *Radioactive isotopes of element 43*, in "The physical review", 52 (1937), 1252-1253.
- Cacciapuoti & Segrè (1938)**
B.N. CACCIAPUOTI, E. SEGRÈ, *Isotopi radioattivi dell'elemento 43*, in "La Ricerca Scientifica", 9:1 (1938), 149-151.
- Carter et al. (1935)**
S.R. CARTER, E.S. HEDGES, W. WARDLAW, *Inorganic chemistry*, in "Annual Report on the Progress of Chemistry", 32 (1935), 138-180.
- Corbino (1929)**
O.M. CORBINO, *I compiti nuovi della fisica sperimentale*, in *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze. XVIII Riunione (Firenze 1929)*, Roma: SIPS, 1930, pp. 157-168.
- Curatolo et al. (1954)**
M. CURATOLO, M.M. INDOVINA ADDARIO, D. PALUMBO, M. SANTANGELO, *Sul metodo delle emulsioni nucleari nello studio della componente neutronica della radiazione cosmica*, in "Nuovo cimento", 12 (1954), 460-463.
- De Felice (1988)**
R. DE FELICE, *Storia degli ebrei italiani sotto il fascismo*, Torino: Einaudi, 1988 (4a edizione).
- De Maria & Russo (1985)**
V. DE MARIA, A. RUSSO, *The discovery of the positron*, in "Rivista di storia della scienza", 1:2 (1985), 237-286.
- Forman (1987)**
J. FORMAN, *Behind quantum electronics: national security as basis for physical research in the United States, 1940-1960*, in "Historical studies in the physical and biological sciences", 8:1 (1987), 149-229.
- Forman (1992)**
J. FORMAN, *Inventing the maser in post-war America*, in Thackray ed. (1992), 105-134.
- Forman (1995)**
J. FORMAN, "Swords into ploughshares": breaking new ground with radar hardware and techniques in physical research after World War II, in "Reviews of modern physics", 67:2 (1995), 397-455.

Freyermann et al. (1948)

- M. FREYERMANN, R. FREYERMANN, I. DE ROT, *La scoperta del tecnezio e la sua spettroscopia*, in "Journal de physique et radium", 9, s. 8 (1948), 2D-60D.
- Gambaro (1988)**
I. GAMBARO, *La scoperta del tecnezio*, in *Atti del VIII congresso nazionale di storia della fisica* (Napoli, 1987), a cura di F. Bevilacqua, Milano, 1988, 187-200.
- Gambaro (1993)**
I. GAMBARO, *Acceleratori di particelle e laboratori per le alte energie: Roma e Parigi negli anni Trenta*, in "Rivista di storia della scienza", Serie II, 1:1 (1993), 105-154.
- Gatti (1982)**
E. GATTI, *Commemorazione di Giuseppe Bolla*, in Istituto Lombardo, Accademia di Scienze e Lettere, *Rendiconti*, 116 (1982), 143-152.
- Giuliani ed. (1988)**
G. GIULIANI (editor), *The origins of solid-state physics in Italy: 1945-1960*, Bologna: Società Italiana di Fisica, 1988.
- Gozzini (1988)**
A. GOZZINI, *Microwave physics in Pisa in the fifties*, in Giuliani ed. (1988), pp. 67-75.
- Heilbron (1984)**
J. L. HEILBRON, *La ristrutturazione della fisica fra le due guerre*, in AA.VV. (1984), 21-56
- Heilbron (1986)**
J. HEILBRON, *The first European cyclotrons*, in "Rivista di storia della scienza", 3:1 (1986), 1-44.
- Heilbron & Seidel (1989)**
J. HEILBRON, R. SEIDEL, *Lawrence and his laboratory*, Vol. I di *A history of Lawrence Berkeley Laboratory*, Berkeley: University of California Press, 1989.
- Hevesy (1938)**
G. V. HEVESY, *Radioactive phosphorus as indicator in biology*, in "Il nuovo cimento", n.s., 15 (1938), 279-312.
- Holton (1983)**
G. HOLTON, *L'immaginazione scientifica*, Torino: Einaudi, 1983.
- Jensen (1938)**
H. JENSEN, *Über die Elemente 43 und 61*, in "Naturwissenschaften", 26 (1938), 381.
- Krige & Russo (1994)**
J. KRIGE, A. RUSSO, *Europe in space 1960-1973*, Noordwijk: European Space Agency, ESA SP-1172, September 1994.
- Lenoir & Lécuyer**
T. LENOIR, C. LÉCUYER, *Instruments makers and discipline builders: the case of nuclear magnetic resonance*, in "Perspectives on science", 3 (1995), 276-345.
- Leslie (1993)**
S.W. LESLIE, *The cold war and American science*, New York: Columbia University Press, 1993.
- Nastasi (1991)**
P. NASTASI, *La comunità matematica italiana di fronte alle leggi razziali*, in *Giornate di storia della matematica*, a cura di M. Galuzzi, Commenda di Rende: EditEl, 1991, 365-463.

alma & Palma (1988)

. PALMA, B. PALMA, *Electron paramagnetic resonance in Palermo*, in Giuliani ed. (1988), p. 137-168.

alma-Vittorelli & Palma (1958)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, *A microwave electron spin resonance spectrometer*, in *Il nuovo cimento*, Supplemento, 7 (1958), 139-154.

alma-Vittorelli et al. (1953)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, D. PALUMBO, M. SANTANGELO, *Curve di assorbimento ramanetico di sali di rame a diversa temperatura*, in *La ricerca scientifica*, 23 (1953), 23-1431.

alma-Vittorelli et al. (1954)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, D. PALUMBO, M. SANTANGELO, *Curve di assorbimento ramagnetico con microonde*, in *Il nuovo cimento*, Supplemento, 12 (1954), 154-155.

alma-Vittorelli et al. (1955a)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, D. PALUMBO, M. SANTANGELO, *Correlazione tra assorbimento parametrico di polveri e monocristalli di $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$* , in *La ricerca scientifica*, 25 (1955), 2364-2367.

alma-Vittorelli et al. (1955b)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, D. PALUMBO, M. SANTANGELO, *Determination and perities of anisotropy in paramagnetic resonance absorption*, in *Il nuovo cimento*, 2 (55), 811-819.

alma-Vittorelli et al. (1956)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, D. PALUMBO, F. SGARLATA, *Evidence for a double valent bond from paramagnetic resonance, optical absorption and X-ray data*, in *Il nuovo cimento*, 3 (1956), 718-730.

alma-Vittorelli et al. (1957)

.B. PALMA-VITTORELLI, M.U. PALMA, D. PALUMBO, *The behaviour of phase-sensitive detectors*, in *Il nuovo cimento*, 6 (1957), 1211-1220.

paneth (1947)

. PANETH, *The making of the missing chemical elements*, in *Nature*, 159 (1947), 8-10.

panichi (1949)

. PANICHI, *Commemorazione del corrispondente Carlo Perrier*, in *Accademia nazionale dei Lincei*, "Rendiconti della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali", 6 (1949), 386-390.

perrier & Segrè (1937a)

. PERRIER, E. SEGRE', *Radioactive isotopes of element 43*, in *Nature*, 140 (1937), 193-194.

perrier & Segrè (1937b)

. PERRIER, E. SEGRE', *Some chemical properties of element 43*, in *Journal of chemical physics*, 5 (1937), 712-716.

perrier & Segrè (1937c)

. PERRIER, E. SEGRE', *Alcune proprietà chimiche dell'elemento 43*, in "Rendiconti dell'Accademia dei Lincei - Scienze Fisiche", serie 6, 25 (1937), 723-730.

perrier & Segrè (1938a)

. PERRIER, E. SEGRE', *Ricerca sullo scambio del fosforo in taluni composti*, in *La ricerca scientifica*, 9:1 (1938), 638-639.

Perrier & Segrè (1938b)

. PERRIER, E. SEGRE', *Alcune proprietà chimiche dell'elemento 43 - Nota II*, in "Rendiconti dell'Accademia dei Lincei - Scienze Fisiche", serie 6, 27 (1938), 579-581.

Perrier & Segrè (1939)

. PERRIER, E. SEGRE', *Some chemical properties of element 43*, in *Journal of chemical physics*, 7 (1939), 155-156.

Perrier & Segrè (1947)

. PERRIER, E. SEGRE', *Technetium: element of atomic number 43*, in *Nature*, 159 (1947), 24.

Perrier et al. (1938)

. PERRIER, M. SANTANGELO, E. SEGRE', *Radioactive isotopes of zinc and cobalt*, in *The physical review*, 53 (1938), 104-105.

Russo (1986)

. A. RUSSO, *Science and industry in Italy between the two world wars*, in *Historical studies in the physical and biological sciences*, 16:2 (1986), 281-320.

Russo & Santamaria (1990)

. A. RUSSO, A. SANTAMARIA, *La scoperta del neutrone*, in *Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*, 14, t. 2, p. 2 (1990), 445-461.

Santangelo (1957)

. M. SANTANGELO, *Ricerche sul paramagnetismo dei solidi presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Palermo*, in *La ricerca scientifica*, 27:9 (1957), 2768-2772.

Santangelo (1959)

. M. SANTANGELO, *L'attività del Comitato Regionale Ricerche Nucleari della Sicilia*, in *Il nuovo cimento*, Suppl., 9 (1959), 413-418.

Seaborg & Segrè (1939)

. G. SEABORG, E. SEGRE', *Nuclear isomerism in element 43*, in *The physical review*, 55 (1939), 808-814.

Segrè (1935)

. E. SEGRE', *Misure delle sostanze radioattive artificiali*, in *Il nuovo cimento*, 12 (1935), 232-239.

Segrè (1939)

. E. SEGRE', *Element 43*, in *Nature*, 143 (1939), 460-461.

Segrè (1987)

. E. SEGRE', *Enrico Fermi, fisico. Una biografia scientifica*, Bologna: Zanichelli, 1987 (2a edizione).

Segrè (1995)

. E. SEGRE', *Autobiografia di un fisico*, Bologna: Il Mulino, 1995.

Tarsitani (1981)

. C. TARSITANI, *Tradizione e innovazione nella fisica italiana tra le due guerre: il caso del "gruppo Fermi"*, in *Critica marxista*, 19:6 (1981), 79-120.

Tarsitani (1984)

. C. TARSITANI, *La fisica italiana tra vecchio e nuovo: Orso Mario Corbino e la nascita del gruppo Fermi*, in AA.VV. (1984), 323-346.

Thackray ed. (1992)

. A. THACKRAY (editor), *Science after '40*, "Osiris", vol. 7 (1992).

Zavoisky (1945)

. E. ZAVOISKY, *Paramagnetic relaxation of liquid solutions for perpendicular fields*, in *Journal of physics of the USSR*, 9 (1945), 211-216.