

La nascita della Fisica della materia: 1945-1965*

Nella tabella 1 a p. 23 sono stati corretti due errori.

Ilaria Bonizzoni e Giuseppe Giuliani

Dipartimento di Fisica “Volta”, Pavia

giuliani@fisicavolta.unipv.it

<http://fisicavolta.unipv.it/percorsi>

Non mancano – ed oggi anzi fioriscono – storie delle scienze e delle tecniche: ma in generale esse sono avulse dal contesto politico ed umano, entro cui l'evoluzione scientifica ebbe luogo. Storie dunque settoriali, utili cronologicamente, ma incapaci di dare le spiegazioni ultime, nelle quali ha larga prevalenza la componente umana, e valore non trascurabile quella legata al caso o alle tradizioni. ♦

1. Introduzione

Alle soglie della seconda guerra mondiale, la comunità dei fisici accademici italiani aveva ancora una struttura di tipo ottocentesco percorsa, tuttavia, da segni di rinnovamento.¹ Il ridotto numero di fisici (127 nel 1940), la dimensione dei ‘gruppi di ricerca’ (tre, quattro unità), i finanziamenti scarsi (sia in assoluto sia in confronto con altri paesi), l’accentuato centralismo dell’istituzione universitaria, concorrevano a rendere assai debole la comunità dei fisici italiani. Questa debolezza rifletteva, peraltro, la fragilità strutturale della ricerca scientifica in Italia nel suo insieme.

Per lo sviluppo di nuove conoscenze, il limite più significativo è la ridotta dimensione dei gruppi di ricerca. Un gruppo di tre, quattro persone è, in generale, i-

* Per la stesura di questo scritto, ci siamo avvalsi, tra l’altro, dei saggi contenuti nel volume: G. Giuliani (a cura di), *The origins of Solid State Physics in Italy (1945-1960)*, Bologna 1988, **d’ora innanzi citato come OSSP**; nonché dei saggi di L. Giulotto e G. Chiarotti contenuti nel volume: *Atti del Convegno Nazionale di Struttura della Materia*, (Pavia, 1982), Bologna, 1987.

♦ M. Silvestri, *Il costo della menzogna - Italia nucleare 1945-1968*, Einaudi, 1968, p. X-XI.

¹ G. Giuliani, *Il Nuovo Cimento - Novant’anni di fisica in Italia: 1855 – 1945*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1995.

nadeguato a sviluppare il livello di discussione necessario, soprattutto se i collegamenti esterni sono nulli o marginali. La situazione era poi aggravata dalle relazioni interne ai gruppi, caratterizzate da rapporti gerarchici basati sui ruoli e non sulle competenze.

Nelle università il ricambio del personale ricercatore era lento e difficoltoso, sia per la scarsità di nuovi posti, sia per la ridotta disponibilità di laureati. Si noti che il numero dei professori ordinari rimase praticamente costante dal 1900 al 1940 (incremento di sole quattro unità): l'aumento del numero dei fisici (da 70 a 127) fu dovuto al raddoppio del numero degli assistenti, nonché all'incremento dei professori incaricati e dei liberi docenti.

Il piano di studi era deciso a livello nazionale ed i suoi rari mutamenti erano stati del tutto inadeguati rispetto al rinnovamento della disciplina. Nel corso del cinquantennio 1887 – 1937, che ha visto radicali innovazioni nella Fisica, furono apportate solo due variazioni di rilievo: l'introduzione dei corsi di Fisica superiore (1920 circa) e di Fisica teorica (1937). Prescindendo da queste modifiche, l'impianto del corso di laurea era rimasto quello dell'Ottocento, caratterizzato da una netta prevalenza di corsi di Matematica o svolti da matematici (Meccanica razionale e Fisica matematica): gli insegnamenti di Fisica tenuti da fisici si riducevano ai due corsi di fisica sperimentale del primo biennio, nonché a tre corsi di esercitazioni. L'esistenza di un corso a scelta dello studente non modificava di molto la situazione, dato il ventaglio delle alternative disponibili.² Nei due corsi di Fisica sperimentale si insegnava quella che oggi chiamiamo Fisica classica (meccanica, termodinamica, ottica ed elettromagnetismo). Tuttavia, gli autori dei manuali di 'Fisica classica' furono abbastanza solleciti a introdurre elementi riguardanti le 'nuove radiazioni': raggi X, raggi catodici e radioattività.³ Molto più lenta fu invece la diffusione della teoria della relatività e della Fisica dei quanti: bisogna attendere la traduzione del manuale di Graetz (1924) e la comparsa dei testi di Fermi (1928) e Castelfranchi (1929).⁴ In realtà c'erano state delle anticipazioni, dovute però a fisici matematici: nel 1921 comparve il manuale di relatività di Marcolongo, che egli utilizzava per il corso di Fisica matematica a Napoli.⁵ Per quanto riguarda l'insegnamento, alcuni elementi della teoria della relatività e di Fisica dei quanti apparvero nei corsi di Fisica superiore e Fisica matematica intorno agli anni

² Per esempio, nel 1937 a Pavia, l'elenco dei corsi a scelta comprendeva: Mineralogia, Chimica organica, Astronomia, Fisica terrestre e Calcolo delle probabilità.

³ Si veda, ad esempio: P. Marazzini, *Nuove radiazioni, quanti e relatività in Italia: 1896-1925*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996.

⁴ L. Graetz, *Le nuove teorie atomiche e la costituzione della materia*, Milano, 1924; E. Fermi, *Introduzione alla fisica atomica*, Bologna, 1928; G. Castelfranchi, *Fisica moderna*, Milano, 1929.

⁵ R. Marcolongo, *Relatività*, Napoli, 1921.

apparvero nei corsi di Fisica superiore e Fisica matematica intorno agli anni venti. Negli stessi corsi, comparvero poi elementi di meccanica quantistica che caratterizzarono, a partire dal 1937, il corso di Fisica teorica.⁶

La struttura del corso di laurea e le caratteristiche dei manuali riflettevano, peraltro, la 'natura' dello studioso italiano di fisica: fisico sperimentale perché formato da fisici sperimentali per convinzione e per professione. Diffusa e radicata era la convinzione che lo sviluppo delle conoscenze fisiche fosse essenzialmente, se non unicamente, dovuto alla ricerca sperimentale: la funzione della teoria era ausiliaria e si tendeva a non riconoscerle alcuna capacità creativa.

Non può quindi sorprendere che la Fisica italiana soffrisse anche per un retroterra culturale, ereditato dall'Ottocento, inadeguato per far fronte alle innovazioni della disciplina. La scarsa attenzione rivolta alla struttura microscopica della materia - sia nel tardo Ottocento sia nei primi decenni del Novecento - appare anche come il prodotto di una visione della Fisica come disciplina essenzialmente sperimentale, votata alla misura di grandezze macroscopiche e rifuggente le 'ardite' ipotesi e teorie che si erano rivelate come necessarie per indagare la struttura intima della materia.

C'erano però anche degli elementi di rinnovamento, legati, principalmente, alle attività dei gruppi di Enrico Fermi e di Bruno Rossi.

La comparsa sulla scena di Enrico Fermi non ha alcuna correlazione con le caratteristiche strutturali e culturali della Fisica italiana di quel periodo. Come ampiamente documentato da allievi informali e collaboratori, nonché dalle ricostruzioni biografiche, Enrico Fermi costituisce un caso esemplare di scienziato che si forma e si afferma contando solo sulle proprie forze. Egli dovette superare gli ostacoli frapposti da una struttura di ricerca povera di stimoli culturali e destinata, in assenza di eventi estrinseci, ad attendere il lento mutamento delle condizioni complessive del paese, prima di avviarsi verso il recupero delle posizioni perdute. Fermi si forma da autodidatta: negli anni giovanili, per vocazione; durante gli studi universitari a Pisa, per necessità. Nessuno, tra i suoi docenti a Pisa è in grado di aiutarlo a padroneggiare la relatività e la Fisica dei quanti. Anche il suo atteggiamento pragmatico, incurante delle implicazioni filosofiche ed epistemologiche della Fisica, costituisce una netta cesura rispetto ad una tradizione che aveva visto Righi, Ferraris, Garbasso e Corbino impegnati su questi temi.⁷ E' emblematico, da questo punto di vista, il breve contributo di Fermi all'appendice del volume di Koppf inti-

⁶ Il radicamento di questo corso fu, tuttavia, molto lento: nel 1937-38, corsi di meccanica quantistica di buon livello furono tenuti solo in quattro o cinque università.

⁷ G. Giuliani, *Il Nuovo Cimento - Novant'anni di fisica in Italia: 1855 - 1945*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1995, pp. 40-75.

tolato 'I fondamenti della relatività einsteiniana', pubblicato a Milano nel 1923. Fermi scrive, tra l'altro:

La grandiosa importanza concettuale della teoria della relatività, come contributo ad una più profonda comprensione dei rapporti tra spazio e tempo, e le vivaci e spesso appassionate discussioni a cui essa ha in conseguenza dato luogo anche fuori degli ambienti strettamente scientifici, hanno forse un po' distolta l'attenzione da un altro suo risultato che, per esser meno clamoroso e, diciamo pure, meno paradossale, ha tuttavia nella fisica conseguenze non meno degne di nota, ed il cui interesse è verosimilmente destinato a crescere nel prossimo svilupparsi della scienza. Il risultato a cui accenniamo è la scoperta della relazione che lega la massa di un corpo alla sua energia.

In una prospettiva storica, è facile concordare con Fermi su quale fosse la novità più gravida di conseguenze, concettuali e applicative, contenuta nella relatività ristretta. Ma nel 1923, nel pieno della discussione sull'impatto della relatività sulle concezioni di spazio e tempo, non era usuale assumere una simile posizione.

Fermi introduce ritmi di produzione e livelli di qualità inusitati: dal 1921 al 1933 pubblica su *Il Nuovo Cimento* 24 lavori di cui 18 teorici. Richiama intorno a sé giovani brillanti che daranno negli anni a venire contributi fondamentali: Franco Rasetti, Gilberto Bernardini, Emilio Segrè, Bruno Pontecorvo, Bruno Rossi, Edoardo Amaldi, Ettore Majorana. Nel 1934 inizia l'avventura con i neutroni lenti che lo condurrà, nel 1938, al premio Nobel. La vicenda di Fermi e dei suoi collaboratori si sviluppa tuttavia come una chiara anomalia nel panorama della Fisica italiana: per le qualità della persona, per il rapporto con gli 'allievi', per il lavoro di gruppo che si instaura, per la Fisica che si studia e si pratica. Questa vicenda ha una valenza duplice: sostanzialmente ininfluenza, perché eccezionale, isolata e non imitabile, nel contesto della comunità dei fisici italiani di allora; di grande rilevanza nell'immediato dopoguerra per il rilancio della ricerca fisica in Italia.

A partire dagli anni venti si formano, intorno a Fermi, fisici che si inseriscono in alcuni dei principali flussi di sviluppo della disciplina con importanti reciproche relazioni di studio e di lavoro, contatti culturali con i matematici romani e brevi soggiorni in Germania. Oltre a Fermi, è necessario ricordare i suoi coetanei (o quasi) Franco Rasetti, Nello Carrara e Aldo Pontremoli (scomparso nel 1929 durante la spedizione al polo Nord guidata da Umberto Nobile); quindi - negli anni trenta - Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Edoardo Amaldi, Bruno Pontecorvo, Emilio Segrè, Mario Conversi, Oreste Piccioni e Luigi Giulotto, nonché i teorici Giovanni Gentile, Gleb Wataghin, Giulio Racah, Ettore Majorana, Giancarlo Wick e Piero Caldirola. Il semplice elenco di questi nomi mostra che - negli anni trenta - il settore che vede i Fisici italiani inserirsi nella ricerca di frontiera è quello dei raggi cosmici e della Fisica del nucleo e che, invece, la Fisica delle molecole e, soprattutto,

quella dei solidi e dei liquidi non è molto coltivata. Corbino, in una sua celebre conferenza del 1929, aveva indicato nella Fisica del nucleo ed in quella dello stato solido e liquido i settori di ricerca del futuro. Per quanto concerne la prima, scriveva Corbino:

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.⁸

E, circa la seconda:

La Fisica dello stato solido e liquido della materia e degli effetti delle alte pressioni e delle temperature molto basse o molto elevate deve pertanto essere considerata come un campo pieno di promesse per i fisici teorici e per gli sperimentatori di oggi e dell'avvenire, oltre che di grandissima importanza per le applicazioni.⁹

Negli anni trenta, il gruppo di Fermi realizza la prima parte del “programma” delineato da Corbino; la seconda indicazione non fu raccolta da alcuno. In quegli anni, i fisici italiani erano - salvo le poche eccezioni citate - ancora sostanzialmente estranei ai flussi principali di sviluppo della disciplina. Il lungo periodo di sostanziale torpore (tre decenni) ormai trascorso dagli inizi del secolo, aveva ulteriormente offuscato la capacità di orientamento all'interno della disciplina: non era quindi facile intuire o fare propria l'intuizione secondo cui i nuovi sviluppi teorici (meccanica quantistica) avrebbero dato un impulso fondamentale alla comprensione delle proprietà dei solidi. E qualora tale intuizione si fosse diffusa, non era comunque facile intraprendere, isolatamente, nuovi filoni sperimentali di ricerca che richiedevano, come si esprimeva Corbino, “l'opera di fisici di razza, muniti di forte preparazione teorica”.¹⁰

Il risultato fu che la Fisica dello stato solido, come specifico settore di ricerca, cominciò a svilupparsi solo nel secondo dopoguerra.

Tuttavia, alla fine della guerra, il contesto internazionale della ricerca fisica appare profondamente mutato: la sconfitta del nazismo e del fascismo e le devastazioni belliche in Europa hanno favorito lo spostamento dell'egemonia economica e scientifica al di là dell'Atlantico; lo sforzo sostenuto dagli Stati Uniti per la produzione della bomba a fissione nucleare ha mostrato l'efficacia della ricerca basata sulla concentrazione di risorse umane e materiali e sull'intreccio programmato tra ricerca di base, ricerca applicata e tecnologia finalizzato ad obiettivi prestabiliti;

⁸ O.M. Corbino, ‘I compiti della nuova fisica sperimentale’, *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze*, Riunione XVIII, Firenze, 1929, (1930), 157-168, p. 164.

⁹ Ibidem, p. 163.

¹⁰ Ibidem, p. 157.

l'uso della bomba a fissione nucleare su Hiroshima e Nagasaki ha di nuovo portato drammaticamente alla ribalta il ruolo della scienza e delle sue applicazioni; la suddivisione del mondo in due blocchi e l'instaurarsi della guerra fredda rilancia la corsa agli armamenti; l'interesse dei governi per la scienza e per le applicazioni militari e civili della tecnologia va assumendo carattere permanente con conseguenti crescenti impegni economici dei rispettivi paesi; gli scienziati non solo vedono aumentare considerevolmente il loro numero ma acquisiscono progressivamente coscienza dell'accelerazione del processo di integrazione della scienza nella società, della crescita della loro influenza su alcuni processi decisionali, dell'accrescimento della loro responsabilità, anche di natura etica.

I problemi che il nostro paese deve affrontare per quanto concerne lo sviluppo scientifico e tecnologico sono quindi complessi e difficili e resi ancora più ardui dalle difficoltà economiche derivanti dalla devastazione bellica e dalla debolezza complessiva della struttura scientifica nazionale.

2. Gli anni della ricostruzione

Durante gli eventi bellici la ricerca scientifica aveva subito una forte flessione quantitativa e qualitativa. La riduzione quantitativa può essere misurata sulla base del numero degli articoli pubblicati su *Il Nuovo Cimento*: si passa dai 232 articoli del quinquennio 1934-39 ai soli 134 del periodo 1940-44. La flessione qualitativa si evince anche dalla diminuzione percentuale dei lavori di 'Fisica moderna' rispetto a quelli di 'Fisica classica'.¹¹ Entrambe le flessioni sono verosimilmente da attribuirsi al fatto che, in media, erano rimasti negli istituti solo i fisici meno giovani.

Dopo la liberazione, inizia il lavoro di ricostruzione degli edifici distrutti, del recupero degli strumenti di laboratorio - talvolta nascosti per impedirne il furto da parte delle truppe tedesche in ritirata¹² - dell'acquisizione di nuove attrezzature anche attingendo ai residui bellici abbandonati dalle truppe alleate.¹³

¹¹ Nota 1, pp. 108-111. Si consulti anche il database relativo al *Nuovo Cimento* (1855-1944) nel sito: <http://fiscavolta.unipv.it/asf/>

¹² Racconta Adriano Gozzini: "Prima di abbandonare Pisa, i tedeschi hanno minato e fatto saltare un'ala dell'istituto con la sua torre. Anna Ciccone, che era l'unica persona che frequentava l'istituto in quei giorni, si rifiutò di abbandonarlo e si rifugiò nell'altra ala dell'edificio. Dopo l'esplosione delle mine, i tedeschi si ritirarono portando via i migliori strumenti ottici. Quando Anna Ciccone si accorse di questo, si precipitò sui soldati come una furia, come una tigre infuriata difenderebbe i suoi piccoli, ponendo ai soldati l'alternativa di ucciderla all'istante o di rinunciare agli strumenti. Fortunatamente essi scelsero la seconda alternativa, così che i migliori strumenti (inclusi un echelon di Michelson e un reticolo di diffrazione con l'autografo di Rowland, ora conservato nel museo di Certosa di Calci) furono salvati. Chiunque abbia conosciuto Anna Ciccone, può immaginare la sce-

Il quadro istituzionale non era, ovviamente, mutato: il piano di studi del corso di laurea in Fisica fu modificato solo nel 1961, quando divenne obbligatorio, tra l'altro, il corso di *Struttura della materia*.¹⁴ Il numero degli studenti del corso di laurea in Fisica rimaneva dello stesso ordine di grandezza di quello del periodo precedente la guerra: dell'ordine della decina per ogni sede universitaria.¹⁵

Per quanto concerne la ricerca, i punti di riferimento erano i filoni della Fisica nucleare e dei raggi cosmici, eredità culturale di Enrico Fermi e Bruno Rossi. I cultori di questi settori della Fisica seppero abilmente sfruttare la sensibilità degli ambienti politici e di governo verso le possibili applicazioni civili dell'energia nucleare per ottenere finanziamenti e mirare alla realizzazione di una struttura di ricerca che si concreterà nel 1951 nella costituzione, all'interno del CNR, dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).

I fisici, che per contingenze oggettive o per scelte personali, erano orientati verso quella che sarà poi chiamata Fisica della materia, non trovando riferimenti culturali od organizzativi derivanti dalla Fisica italiana del periodo pre-bellico, furono costretti a rivolgersi all'estero e ad operare in un contesto indifferente nei confronti di una Fisica dall'immagine ancora incerta, sia per quanto concerne gli aspetti fondamentali, sia per i possibili sviluppi applicativi.

3. Mappa di uno sviluppo policentrico

La Fisica della materia è il risultato di un processo di sviluppo policentrico: fisici operanti in varie sedi si dedicano allo studio della Fisica della materia stimolati da situazioni locali e da contatti con gruppi di ricerca stranieri, prevalentemente statunitensi. I primi 'gruppi' sorgono sulla base di esperienze o strutture precedenti la guerra: Torino (Istituto Nazionale di Elettrotecnica 'Galileo Ferraris'), Roma (Istituto di Ultracustica), Pavia.

na." A. Gozzini, 'Microwave physics in Pisa in the fifties', *OSSP*, 67-75, p. 67. A Pavia, Orazio Specchia fece interrare l'acceleratore Cockcroft-Walton acquistato da Rita Brunetti, nel timore che fosse sottratto dalle truppe tedesche. Si veda l'intervista di G. Chiarotti in questo volume.

¹³ Ancora Gozzini: "Un deposito di materiali era stato lasciato dalle truppe americane nel vicino campo di Tombolo. Quel materiale fu successivamente venduto nei campi *Arar* [Azienda Rilievo e Alienazione Residuati] ma, all'inizio, veniva venduto clandestinamente. Per poche lire era possibile acquistare meravigliosi oggetti come, klystrons, magnetrons e sofisticati apparati elettronici." *Ibidem*, p. 68. Testimonianze analoghe si trovano nelle interviste riprodotte in questo volume.

¹⁴ Per i dettagli sulla riforma del piano di studi, si veda, in questo volume, il saggio di Marazzini.

¹⁵ Si veda la tabella corrispondente nel saggio di Marazzini.

3.1 Torino

Il ‘Galileo Ferraris’ di Torino nasce come progetto della Società Idroelettrica Piemonte che, nel marzo 1929, stanziò allo scopo dieci milioni di lire (equivalenti a circa 13,5 miliardi del 2001): esso rischia di essere abbandonato in seguito alla grave crisi economica di quel periodo. L’intervento congiunto del comune di Torino e dello Stato permette, grazie anche all’impegno diretto di Giancarlo Vallauri, il rilancio del progetto e l’Istituto è inaugurato nel 1935. Il risultato di questo intreccio tra pubblico e privato è una struttura a carattere misto in cui lavorano sia universitari della Scuola di Elettrotecnica del Politecnico sia ricercatori dipendenti dall’istituto ed assunti, come il restante personale, con un contratto a termine. Presidente era il titolare della cattedra di Elettrotecnica ed il funzionamento era assicurato dallo Stato con uno stanziamento annuo di due milioni di lire. Per l’impegno finanziario, il concorso di enti pubblici e privati, la parziale flessibilità del sistema di assunzione del personale, il rapporto numerico tecnici-laureati, il Galileo Ferraris rappresentò un’eccezione all’interno del panorama della ricerca italiana. L’istituto comprendeva diverse sezioni tra cui: Ingegneria elettrica, Tecniche radio, Macchine elettriche, Tecniche di alta tensione, Materiali dielettrici e magnetici.

Per quanto concerne la Fisica dello stato solido, il contributo del Galileo Ferraris nel periodo considerato riguarda, essenzialmente, il settore delle proprietà magnetiche dei materiali. Inizialmente, la sezione era diretta da Carlo Chiodi e Valentino Zerbini. Nel dopoguerra, le ricerche sulle proprietà magnetiche sono sviluppate da Giorgio Montalenti (1915-1990) e collaboratori, tra i quali Andrea Ferro Milone (1921-1988).

Giorgio Montalenti si laurea a Roma in Fisica nel 1938 con una tesi sui misuratori d’alto vuoto (relatore Franco Rasetti). Nel 1938-39 è al Galileo Ferraris come borsista. Il servizio militare lo impegna per tutta la durata della guerra. Tra il 1945 e il 1963 è ricercatore nella sezione materiali magnetici del Galileo Ferraris. Nel 1963 è nominato professore straordinario di Fisica dello stato solido alla Facoltà di Scienze dell’Università di Messina. Nel 1964 è titolare della cattedra di Fisica dello stato solido presso la Facoltà di Scienze dell’Università di Torino.

Il gruppo di Montalenti ha svolto ricerche sul rilassamento della permeabilità magnetica in seguito a smagnetizzazione, sui fenomeni direzionali in leghe magnetiche e sul danno da radiazione neutronica in leghe di alta permeabilità.¹⁶

¹⁶ Si veda, in questo volume, l’intervista di Giorgio Montalenti e, per i dettagli scientifici: G. Montalenti, ‘Ferromagnetic materials and the *Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris*’, *OSSP*, pp. 15-28.

A Torino, negli anni cinquanta, ha iniziato ad operare anche Piero Broveto. Della sua prima attività si ricordano l'interpretazione, con metodi della teoria della valenza, della struttura iperfine dello spettro ESR di un radicale organico (trifenilmetile) e l'interpretazione del fenomeno della polarizzazione nucleare mediante l'interazione iperfine (effetto Overhauser). Successivamente, Broveto si è occupato di fenomeni di termoluminescenza ed elettroluminescenza: queste ricerche saranno proseguite a Cagliari (dove è chiamato in qualità di Professore straordinario nel 1964) e dove, a partire dal 1958, P. Manca aveva dato inizio a ricerche sperimentali sui semiconduttori.

3.2 Tra Milano e Pavia

Il gruppo di Pavia si forma intorno alla figura di Luigi Giulotto (1911-1986),¹⁷ che si laurea a Pavia nel 1933, quando direttore dell'istituto di Fisica è Adolfo Campetti. Nel 1936, a Campetti succede Rita Brunetti che dirige l'istituto sino alla sua morte, avvenuta nell'estate del 1942. All'inizio, Giulotto si occupa delle proprietà ottiche di liquidi. L'attività di ricerca è interrotta dagli eventi bellici; infatti, dopo l'otto settembre 1943, Giulotto ripara in Svizzera e rientra in Italia dopo la liberazione. Nel 1938 si era laureato a Pavia Piero Caldirola, discutendo, nonostante le sue propensioni per la Fisica teorica, una tesi sperimentale sulla diffusione dell'idrogeno nel palladio riscaldato.¹⁸ Tuttavia, subito dopo la laurea, Caldirola si trasferisce a Roma con una borsa di studio "Principe di Piemonte" del Collegio Ghislieri: la Brunetti lo presenta, con una lettera, a Fermi e Rasetti.¹⁹ Quando Caldirola rientra a Pavia, dopo un breve soggiorno a Padova (dove aveva lavorato con Giancarlo Wick), inizia una felice e duratura stagione di collaborazione tra Caldirola e Giulotto. I due fisici scrivono anche lavori in comune; tuttavia, la natura della collaborazione, fondata su una reciproca stima, è essenzialmente basata sullo scambio di informazioni e idee sul "che fare". È Caldirola che suggerisce a Giulotto di analizzare lo spettro della riga H_{α} dell'atomo di idrogeno, e, più tardi, di occuparsi di risonanza magnetica nucleare.²⁰ Nel caso della riga H_{α} , si trattava di

¹⁷ Si veda, in questo volume, l'intervista di Luigi Giulotto e di Gilda Olivelli Giulotto; per l'opera scientifica di Giulotto: G. Bonera, A. Rigamonti, 'Magnetic resonance spectroscopy in Pavia under Luigi Giulotto: 1945-1960', *OSSP*, pp. 49-65.

¹⁸ Questo era un destino assai comune dei giovani fisici orientati verso la Fisica teorica: unica eccezione era, dopo l'insediamento di Fermi, l'istituto di Fisica di Roma.

¹⁹ Si veda, in questo volume, l'intervista di Piero Caldirola.

²⁰ Secondo la testimonianza di Alberto Gigli, Edoardo Amaldi, di ritorno nel 1946 da un viaggio negli USA, passa anche da Pavia e, suggerisce, tra l'altro, come promettente indirizzo di ricerca, quello della risonanza magnetica nucleare (Si veda: A. Piazzoli, D. Scan-

analizzare la struttura del doppietto della riga, perché si sospettava che i livelli $^2S_{1/2}$ e $^2P_{1/2}$ dell'atomo di idrogeno non avessero, diversamente da quanto previsto dalla teoria quantistica relativistica di Dirac, la stessa energia. Il lavoro, iniziato nel 1942, fu completato solo nel 1947 a causa degli eventi bellici e fornì una ragionevole conferma della discrepanza tra teoria ed esperimento.²¹ Poco dopo W. Lamb e R. Retherford mostrarono che il livello $^2P_{1/2}$ è di circa 1058 Mhz inferiore in energia al livello $^2S_{1/2}$ osservando direttamente la relativa transizione, mediante l'uso di un fascio di microonde di appropriata lunghezza d'onda: la descrizione teorica fu poi data dalla elettrodinamica quantistica. Per questi risultati, Lamb ricevette il premio Nobel per la Fisica nel 1955.

Per quanto concerne la risonanza magnetica nucleare, i lavori di Giulotto danno inizio a questo settore di ricerca in Italia.²² Gli sviluppi successivi permisero a Giulotto ed ai suoi collaboratori di inserirsi e mantenersi, per circa un decennio, tra i gruppi di maggior rilievo a livello mondiale e fecero di Pavia il principale centro di sviluppo di queste ricerche in Italia.

Agli inizi degli anni cinquanta, Piero Caldirola mette in contatto Luigi Giulotto con Fausto Fumi.

Fumi, nato nel 1924, si era laureato in Chimica, a Genova, nel 1946 e, in Fisica, due anni dopo. Era stato allievo di Carlo Perrier, cristallografo. Nel 1948 Fumi si reca negli USA per lavorare con Frederick Seitz, prima a Pittsburgh, poi a Urbana. Fumi rientra in Italia nel 1951, a Milano, dove rimane sino al 1955: durante questo periodo, trascorre un semestre a Pittsburgh lavorando con Parr (chimico teorico) e due anni a Bristol e Cambridge con Nevill Mott. I periodi di studio e ricerca trascorsi all'estero permettono a Fumi di coltivare diversi argomenti di Fisica dello

nicchio, *La fisica nucleare a Pavia*, Pavia, 1998, pp. 16-17). Tuttavia, la testimonianza concorde di Caldirola e Giulotto (si vedano le relative interviste) indica che la decisione di lavorare sulla risonanza magnetica nucleare fu presa da Giulotto, su convincente indicazione di Caldirola. Racconta Caldirola: “ad un certo punto [...] vedo venir fuori un lavoro di Block e uno di Purcell in cui fanno un sistema per misurare il momento magnetico nucleare; dico a Giulotto: <<guarda questi qui hanno semplificato l'apparecchiatura e lo possiamo fare anche qui a Pavia>>, lui guarda un po' e dice: <<sì, non abbiamo quelle tecniche, ma non deve essere molto complicato>>; allora lui si è preso un radiotecnico, che poi andò alla Necchi, era un assistente e aveva fatto con me il militare [...], un certo Sillano. In sostanza ci voleva una parte di radiotecnica e hanno messo su da soli l'induttore nucleare su cui fece la tesi Gigli.”

²¹ L. Giulotto, 'Fine structure of H_{α} ', *The Physical Review*, 71 (1947), 562.

²² L. Giulotto, A. Gigli, P. Sillano, 'Su alcune caratteristiche del fenomeno di induzione nucleare', *Il Nuovo Cimento*, 4 (1947), 201-202.

stato solido: applicazione della teoria dei gruppi alle proprietà dei cristalli (Seitz) e studio dei difetti nei metalli. Su suggerimento di Caldirola, iniziano a collaborare con Fumi (a Milano) alcuni giovani fisici provenienti da Pavia: Roberto Fieschi (laureato a Pavia nel 1950 con Caldirola), Franco Bassani (laureato nel 1952 a Pavia con Caldirola – seguito durante il lavoro di tesi da Fumi) e Mario Tosi (laureato a Pavia nel 1954).²³ Nel 1955, Fumi entra nella terna dei vincitori del concorso di Fisica teorica.²⁴ Fumi viene chiamato a Palermo dove rimane fino al 1957, anno in cui si trasferisce a Pavia sulla cattedra di Fisica teorica. Il progetto era di creare, auspice Caldirola, un gruppo di ricerca teorico – sperimentale di Fisica dello stato solido che ruotasse intorno alle figure di Fumi e Giulotto con cui si erano di recente laureati, con tesi sperimentale, Paolo Camagni (1931-2000) e Gianfranco Chiarotti. L’ambizioso progetto durò solo un paio di anni: nel 1959 Fumi ritorna negli Stati Uniti dove rimane sino al 1966. Il fallimento dell’iniziativa, dovuto a contrasti tra i due protagonisti,²⁵ provoca la dispersione del gruppo che si stava costituendo: Bassani, Tosi e Vittorio Celli (che si era laureato con Fumi nel 1958) si trasferiscono negli Stati Uniti; Camagni si trasferisce presso il centro di Ispra con cui aveva già iniziato a collaborare all’interno del progetto Fumi – Giulotto. A Pavia rimangono solo Chiarotti e i collaboratori di Giulotto nel campo della risonanza magnetica nucleare (Giuseppe Lanzi, Gianni Bonera, Attilio Rigamonti, Ferdinando Borsa). Nel 1962 Chiarotti entra nella terna dei vincitori del concorso per una cattedra di Fisica superiore e viene chiamato a Messina, dove si trasferisce, insieme a tre giovani col-

²³ Bassani e Tosi raccontano: “Quando andammo da Caldirola per chiedergli un argomento di tesi, egli disse che era sua intenzione favorire la ricerca teorica in Fisica dello stato solido, ma che - non essendo lui un esperto del settore – noi avremmo dovuto aspettare l’arrivo di Fausto Fumi, che lui aveva richiamato dagli Stati Uniti all’Università di Milano. Non conoscevamo alcunché di Fisica dello stato solido; pertanto fummo invitati alla lettura del libro di F. Seitz ‘Modern Theory of Solids’: il libro era troppo difficile e vasto per noi a quel tempo, ma esso divenne più tardi la nostra bibbia”. F. Bassani e M. Tosi, ‘Theoretical research in the Physics of solids’, *OSSP*, 129 – 136, p. 130.

²⁴ In commissione c’era Caldirola che racconta: “Si dovevano scegliere tre persone [...] per la terza persona rimanevano diversi nomi, uno era Fumi, l’altro Clementel e l’altro non so se era Gamba, che lavoravano in campi completamente diversi; quindi il problema non era tanto dire chi fosse più bravo degli altri [...], si trattava di dire, almeno io l’ho impostato così, se si riteneva che questi tre fossero tutti e tre di un certo livello da poter degnamente coprire una cattedra universitaria e fossero migliori degli altri che non prendevamo in considerazione; il mio avviso era che si dovesse privilegiare quello che aveva creato in Italia la Fisica dei solidi che stava avendo, già si vedeva, una grande espansione”. Si veda l’intervista di Piero Caldirola.

²⁵ I fisici che hanno vissuto queste vicende non hanno fornito, nelle interviste, molti dettagli: certamente, le personalità e la formazione dei due protagonisti erano così diverse da rendere problematica la collaborazione.

laboratori (Andrea Frova, Adalberto Balzarotti e Umberto Grassano): gli altri collaboratori di Chiarotti, Giuseppe Giuliani, Giorgio Samoggia e Angiolino Stella rimangono a Pavia. Nel 1963 anche Bassani, dopo aver vinto il concorso per una cattedra di Istituzioni di Fisica teorica, viene chiamato a Messina. Tosi rimane negli Stati Uniti sino al 1968 (Argonne National Laboratory), anno in cui vince la cattedra di Fisica dello Stato Solido: dal 1969 al 1974 è a Messina; dal 1974 al 1977 a Roma. A Messina si crea dunque un vivace gruppo di ricerca, la cui funzionalità è comunque limitata dal fatto che Messina era allora una sede di ‘passaggio’: giungono a Messina anche Andrea Levialdi e Aldo Cingolani. Dopo qualche anno, Chiarotti si trasferisce, con i suoi collaboratori più stretti, a Roma; Bassani, va invece a Pisa (1966-69) e, successivamente, a Roma.

Nel corso degli anni cinquanta si sviluppa quindi, a Pavia, un filone di ricerca di Fisica dei solidi che affianca quello già attivo sulla risonanza magnetica nucleare. Le scelte di ricerca, sia sperimentali sia teoriche, sono inizialmente indirizzate verso lo studio dei difetti cristallini, con particolare attenzione ai centri di colore negli alogenuri alcalini. Esse sono suggerite dalle competenze di Fumi e dai rapporti di ricerca stabiliti con Seitz negli USA e con Mott in Inghilterra.²⁶ Solo verso la fine degli anni cinquanta, Chiarotti si dedica anche allo studio dei semiconduttori, stabilendo, tra l’altro, rapporti di ricerca con la *SGS* (Società Generale Semiconduttori) costituita nel 1957: tuttavia, le esigenze di mercato congiunte alle piccole dimensioni dell’industria inducono ben presto la *SGS* a produrre su licenza tralasciando l’attività di ricerca.²⁷ Le tecniche sperimentali usate per lo studio dei centri di colore negli alogenuri alcalini, erano tecniche spettroscopiche che si avvalevano delle competenze accumulate sin dai primi lavori spettroscopici di Giulotto.²⁸ La necessità dell’uso delle basse temperature impose l’acquisizione delle relative tecniche: i criostati per temperature intorno a quelle dell’azoto liquido erano prodotti

²⁶ Quando Chiarotti va ad Urbana da Frederick Seitz (1955-1957), lavora con Robert J. Maurer, Frederick C. Brown e Nicholas Inchauspé sui difetti elettronici e reticolari nei solidi.

²⁷ L’interesse di Chiarotti per la Fisica delle superfici nei semiconduttori nasce anche come il frutto dell’amicizia e delle frequenti visite a Pavia di Robert J. Schrieffer, il quale, prima della tesi di dottorato sulla teoria della superconduttività, aveva lavorato con J. Bardeen sul trasporto elettronico superficiale nei semiconduttori. I lavori di Chiarotti sulle superfici vengono condotti con tecniche modulatorie in grado di evidenziare gli stati elettronici superficiali, nonostante la loro bassa densità: queste tecniche diverranno poi di uso comune.

²⁸ Non altrettanto si può dire per la strumentazione. Racconta Chiarotti: “L’affermazione di Giulotto che la strumentazione sarebbe stata facilmente reperibile, non fu, sfortunatamente, almeno in parte, corretta. L’istituto possedeva diversi spettrografi ad alta risoluzione, tutti equipaggiati con lastre fotografiche e, alcuni, con accessori interferometrici. Essi non erano adatti per osservare le larghe bande di assorbimento dei solidi”. G. Chiarotti, ‘Research on color centers and semiconductors in Pavia’, *OSSP*, 21 – 128, p. 122.

criostati per temperature intorno a quelle dell'azoto liquido erano prodotti localmente; l'acquisizione delle tecniche di manipolazione dell'elio liquido fu assai faticosa anche per le difficoltà incontrate nell'acquisizione di adeguati criostati e la necessità del recupero del gas.

3.2 Tra Milano e Parma

Parallelamente allo sviluppo del gruppo di Pavia si era formato, per opera di Roberto Fieschi, un gruppo di ricerca teorico-sperimentale anche a Milano. Alunno del Collegio Ghislieri in Pavia (come Caldirola, Bassani, Camagni e Chiarotti), Fieschi si laurea nel 1950 con una tesi su un modello fenomenologico dei raggi cosmici sviluppato da Caldirola, suo relatore. Al rientro in Italia di Fumi, Caldirola suggerisce a Fieschi di collaborare con Fumi. Trascorre due anni in Olanda (Utrecht e Leida) dove si occupa di meccanica statistica e termodinamica dei processi irreversibili. Al rientro in Italia, Fieschi è dapprima a Pavia, poi a Milano dove inizia a consolidare un piccolo gruppo (Nice Terzi, Giancarlo Baldini, Elisabetta Abate) di ricerca. Verso la fine degli anni cinquanta, Fieschi, con l'appoggio di Caldirola, si avventura nell'organizzazione di un gruppo di ricerca sperimentale che si occupa di centri di colore in alogenuri alcalini, le cui proprietà vengono studiate con diversi approcci sperimentali: assorbimento ottico, luminescenza e termoluminescenza, conducibilità ionica, termo-conducibilità ionica. Fieschi riesce ad ingrandire il gruppo di ricerca di cui fanno ora parte anche Cesare Bucci, Rosanna Capelletti e Giorgio Spinolo, laureatosi a Pavia nel 1959. Nel 1964, un anno prima di vincere la cattedra di Struttura della Materia, Fieschi si trasferisce a Parma: lo seguono Bucci e Capelletti. A Parma Fieschi ritrova il teorico Fiorenzo Duimio ed Andrea Leviardi, proveniente da Messina. Fieschi, insieme a Leviardi, propone la costituzione, a Parma, di un laboratorio del CNR di Struttura della materia avente come caratteristica - auspicata da Leviardi - l'intreccio delle competenze culturali e professionali di chimici e fisici. Il laboratorio verrà effettivamente realizzato e, secondo Fieschi, suo direttore ideale sarebbe stato Leviardi che, purtroppo, soccombe ad un male incurabile durante un soggiorno di lavoro a Cuba nel 1968.

3.2 Genova

Giovanni Boato si laurea in Chimica, a Genova, nel 1946. Nel gennaio del 1947 si trasferisce a Roma con una borsa di studio della Montecatini offerta da Edoardo Amaldi. A Roma, Boato si laurea anche in Fisica e collabora con Giorgio Careri, allora impegnato nella costruzione del primo spettrografo di massa italiano. Nel settembre del 1952, Boato si trasferisce a Chicago dove lavora nel laboratorio di Harold Urey, conosciuto a Roma, tramite Amaldi. Rientra in Italia nel 1954 e, dopo

un breve soggiorno a Roma, si trasferisce a Genova su invito di Ettore Pancini.²⁹ Qui inizia a costruire uno spettrometro di massa con l'intenzione di utilizzarlo per lo studio del frazionamento isotopico, sia naturale sia prodotto in laboratorio, proseguendo così nel filone di ricerca iniziato a Chicago.³⁰ Lo studio del frazionamento isotopico in sistemi semplici vapore - liquido stimola l'acquisizione delle tecniche delle basse temperature: viene acquistato un liquefattore di aria (da cui si ricava, per distillazione, azoto liquido), si stabiliscono rapporti di collaborazione con il laboratorio di Frascati dove, nel frattempo (1955), Careri è divenuto responsabile del gruppo delle basse temperature.

Nel 1957 frequenta la Scuola di Varenna sulla Fisica dello stato solido organizzata da Fumi. Ricorda Boato: "A Varenna entrai in contatto per la prima volta con le ampie problematiche dei corpi cristallini ed ebbi la fortuna di incontrare alcuni tra i migliori fisici dello stato solido europei e statunitensi. Ho potuto apprendere dalla loro viva voce dei rapidi progressi nell'affascinante campo della struttura e delle eccitazioni collettive di differenti tipi di solidi".³¹ Boato decide quindi di aprire, con i suoi diretti collaboratori, tra cui Giacinto Scoles e Carlo Rizzuto, nuovi filoni di ricerca: proprietà di trasporto dei gas rari allo stato solido e superconduttività.

3.3 Pisa

Adriano Gozzini (1917-1994), allievo della Scuola Normale Superiore, si laurea in Fisica a Pisa nel 1940. Richiamato alle armi subito dopo la laurea, rientra a Pisa nel 1945. Utilizzando materiale proveniente dall'esercito americano, costruisce un laboratorio di microonde: nello stesso periodo, Nello Carrara fonda a Firenze (1946) quello che, un anno dopo, diverrà il Centro microonde del CNR.³² Alla direzione dell'Istituto di Fisica, in seguito al pensionamento di Luigi Puccianti, viene chiamato Nello Carrara: "con il suo arrivo, l'attività [nel campo] della fisica delle microonde ricevette un impulso notevole".³³ L'attività di ricerca svolta nel laboratorio di Gozzini assume, nel corso degli anni, rilevanza internazionale, come testi-

²⁹ Ricorda Boato: "Pancini era divenuto sostenitore del fatto che gli apparecchi si dovevano costruire completamente in casa, perché per formare dei buoni tecnici, bisogna imparare a costruirsi gli apparecchi.....per fare della buona ricerca sperimentale bisogna sapere come gli apparecchi sono fatti e perciò non acquistarli". Si veda l'intervista a Boato.

³⁰ In realtà, Boato costruisce tre spettrometri di massa e ne vende uno a Tongiorgi, interessato a costituire, in Pisa, un gruppo di ricerca sulla geologia nucleare.

³¹ G. Boato, 'Experiments on liquid and solid inert gases and on superconductivity in Genoa', *OSSP*, 197-205, p. 198.

³² Il termine "microonde" fu usato per la prima volta da Carrara nel 1932.

³³ A. Gozzini, 'Microwave physics in Pisa in the fifties', *OSSP*, 67-75, p. 68.

moniato anche dai nomi di alcuni visitatori del laboratorio: Alfred Kastler, Charles Hard Townes e Nicolaas Bloembergen. L'interesse di Kastler fu stimolato dal lavoro di Gozzini (1951) sull'effetto Faraday in sostanze paramagnetiche nella regione delle microonde: "Ma la conseguenza più importante di questo lavoro fu il fatto che esso interessò il prof. Alfred Kastler dell'Ecole Normale di Parigi che l'aveva predetto. Egli mi scrisse e venne a Pisa: stabilimmo un'amicizia e una collaborazione che sono state di inestimabile valore per me. Kastler suggerì di studiare anche l'effetto trasversale (l'effetto Cotton-Mouton) che pure aveva predetto e che osservammo qualche tempo dopo. Questi effetti magneto-ottici si rilevarono un campo di ricerca interessante. Fu coltivato in molti laboratori francesi e russi. In Italia, esso fu estesamente studiato dal gruppo EPR di Parma (Dascola e collaboratori)...".³⁴ In quegli anni, Carrara stipula un contratto di ricerca tra il Centro microonde di Firenze e l'USAF (United States Air Force): parte di questo contratto viene trasferito al laboratorio di Gozzini dove vengono studiati gli spettri dell'ossigeno e del vapore d'acqua. Per l'istituto pisano, sono anni di rapida e vivace crescita: Carrara viene chiamato sulla cattedra di Fisica Superiore a Firenze; Marcello Conversi a Pisa, sulla cattedra di Fisica Generale; successivamente, Luigi Radicati sulla cattedra di Fisica Teorica e Giorgio Salvini su quella di Fisica Superiore. Nel 1955, viene organizzata a Pisa la Conferenza Internazionale sulle particelle elementari; successivamente, l'istituto ospita il gruppo di ricercatori e tecnici del costruendo elettrosincrotrone di Frascati; e, dopo la partenza di questo gruppo per Frascati, l'istituto ospita il gruppo che costruirà il primo computer elettronico italiano (CEP, Calcolatrice Elettronica Pisana).³⁵ Il gruppo di Gozzini si consolida: Arrigo Battaglia e Gerardo Alzetta ritornano (avevano lasciato l'istituto subito dopo la laurea); ad essi si aggregano i neo-laureati Erseo Polacco, Giuseppe Fornaca e Mario Iannuzzi. Le successive ricerche riguardano: l'uso di microonde polarizzate circolarmente nella risonanza paramagnetica elettronica (che sfrutta la trasmissione al campione del momento angolare della radiazione); l'invenzione (con Conversi) della camera odoscopica (per rivelare il percorso di particelle ionizzanti); la prima rivelazione di una transizione a due fotoni in spettroscopia molecolare; l'applicazione di tecniche di indagine EPR a diversi fenomeni di stato solido. Nel 1960, Gozzini organizza a Varenna una scuola dedicata alla spettroscopia a radiofrequenza: "l'evento fu, come si potrebbe dire, estremamente eccitante (tra l'altro, si discusse della possibilità di costruire un 'maser ottico', anticipando di qualche mese la sua effettiva realizzazione)".³⁶

³⁴ Ibidem, p. 69.

³⁵ Per maggiori dettagli si veda: G. Battimelli (a cura di), *L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*, Laterza, 2001, pp. 109-115.

³⁶ A. Gozzini, 'Microwave physics in Pisa in the fifties', *OSSP*, 67-75, p. 72.

3.4 Roma

Nel 1936 viene fondato in Roma, con sede presso l'Istituto di Fisica di via Panisperna, l'Istituto di Elettroacustica del CNR. Promotore e primo presidente dell'Istituto fu Orso Mario Corbino. Le attività di ricerca si svolsero, sin dall'inizio, nei campi dell'acustica musicale, ambientale, della fisica dei trasduttori e degli ultrasuoni.

All'Istituto di Elettroacustica sono legati i primi anni di attività di Piero Giorgio Bordoni e Daniele Sette.

Piero Giorgio Bordoni si laurea nel 1937 in Ingegneria elettrotecnica, trascorre un breve periodo presso il laboratorio di acustica del Galileo Ferraris a Torino ed entra poi nel corpo del Genio Aeronautico come direttore del laboratorio di acustica. Durante l'ultimo biennio del servizio militare si occupa, per la Marina, di torpedini acustiche. Congedato nel 1942, riprende l'attività di ricercatore presso l'Istituto di Elettroacustica dove rimane sino al 1949. Nel 1948 Bordoni trascorre otto mesi, con una borsa del CNR, presso il MIT dove prosegue le ricerche sul comportamento elastico e anelastico dei solidi a "basse" temperature (300-4.5 K). Il misuratore di vibrazioni usato per queste misure fu costruito all'Istituto di Elettroacustica caratterizzando così in modo singolare una delle prime collaborazioni di ricerca Italia - USA del dopoguerra. I risultati ottenuti da Bordoni mostrarono l'esistenza, in alcuni metalli, di un nuovo effetto di rilassamento dovuto al moto intrinseco delle dislocazioni introdotte da una deformazione plastica.

Daniele Sette si laurea nel 1941 in Ingegneria. Compie il servizio militare prima nel corpo del Genio (Roma, Pavia) dell'esercito poi in quello del Genio aeronautico a Guidonia. Trasferito a Bassano del Grappa dopo l'otto settembre, si rifiuta di aderire alla Repubblica di Salò e viene congedato: successivamente richiamato, non si ripresenta. Dopo la fine del servizio militare, Sette lavora all'Istituto di Elettroacustica; dal 1950 al 1953 si trasferisce negli USA, alla Catholic University di Washington, dove prosegue le ricerche già iniziate a Roma. Al rientro, diventa ricercatore del CNR presso l'Istituto di Ultracustica. Nel 1955, nell'ambito della Fondazione Ugo Bordoni, istituita nel 1952, Sette costituisce un gruppo di ricerca che – primo in Italia – si occupa anche di semiconduttori. Nel 1959, viene chiamato, come professore straordinario, dall'Università di Messina: il soggiorno siciliano durò tre anni. Nel 1961 rientra a Roma, alla Facoltà di Ingegneria. I filoni di ricerca coltivati da Sette sono stati diversi: rilassamento elastico nei gas, nei liquidi semplici e nelle miscele di liquidi mediante misure di velocità e di assorbimento di ultrasuoni in funzione della frequenza, della pressione e della temperatura, in particolare nelle vicinanze dei punti critici. Una seconda linea di ricerca ha riguardato lo studio dei fenomeni di cavitazione ultrasonora che ha mostrato l'esistenza di un

processo dovuto alla radiazione cosmica. Le ricerche iniziate alla Fondazione Bordoni si sono successivamente sviluppate nei settori dei semiconduttori, della luce coerente, dei laser, delle fibre ottiche.

Giorgio Careri si laurea, a Roma, in Ingegneria Industriale Chimica nel dicembre 1944, subito dopo la liberazione della città. Dopo la laurea in Ingegneria, rifiuta un'offerta di lavoro, si iscrive a Fisica e si laurea nel 1946. Entra a far parte del gruppo di Edoardo Amaldi che gli affida l'incarico di costruire uno spettrometro di massa. "Dovevo costruire qualcosa di cui non conoscevo neppure il nome". La costruzione dello spettrometro di massa risente, come in altre sedi, delle difficoltà tipiche degli anni della ricostruzione. Lo spettrometro di massa era ancora considerato materiale strategico dagli americani (tale rimase sino al 1950): non era quindi possibile acquistarne dei componenti. Emilio Segrè, violando un divieto, portò dall'America un paio di resistenze da $10^{12} \Omega$, necessarie per far funzionare il circuito d'ingresso del rivelatore di ioni. Non erano disponibili stabilizzatori di tensione. "Abbiamo dovuto fare i 200 V con batterie di accumulatori che servivano all'esercito americano ed erano state abbandonate. Ogni notte ne moriva qualcuna e di prima mattina dovevamo andare a caccia di quelle che erano morte durante la notte, sostituirle con una nuova e poi cominciare a lavorare". Si usavano pompe a diffusione primitive, "rimasugli tedeschi dell'anteguerra: [...] passavo un'ora con il becco Bunsen a scaldare la pompa e me stesso ogni mattina". Nel 1950, Careri trascorre un anno di studio e di lavoro all'Institute for Nuclear Studies di Chicago.

Nel 1954, il CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari) e l'INFN decidono la costruzione del sincrotrone (da 1.1 GeV) a Frascati. Viene affidata a Careri la direzione del laboratorio delle basse temperature, nel quadro di una scelta lungimirante tesa ad associare l'acquisizione delle tecniche criogeniche ad un piano di ricerca sulla Fisica delle basse temperature. Nell'ambiente della Fisica delle particelle elementari i finanziamenti non costituivano più un grosso problema: venne ordinato un liquefattore di elio (in grado di produrre anche idrogeno liquido) e Careri trascorse sei mesi a Leida per apprendere le tecniche criogeniche. Nel marzo del 1956 l'elio fu liquefatto per la prima volta in Italia e, un anno dopo, i primi risultati sulla Fisica delle basse temperature furono presentati ad un Congresso internazionale. La realizzazione del laboratorio delle basse temperature avviene nell'unico edificio allora esistente: quello del sincrotrone era ancora in costruzione.

Nel 1956, Careri vince il concorso di Professore ordinario e viene chiamato dall'Università di Bari dove incontra Franco Scaramuzzi che diventa suo collaboratore. Nel 1958 Careri viene chiamato dall'Università di Padova, dove rimane sino al 1960, quando si trasferisce all'Università di Roma.

Lo spettrometro di massa ha permesso lo studio di problemi di cinetica chimica e di geochimica; l'acquisizione delle tecniche criogeniche è stata alla base dello

sviluppo di ricerche tipiche della Fisica delle basse temperature: coefficienti di diffusione in miscele diluite di $H_2 - D_2$ e $^3He - ^4He$; moto di ioni in elio liquido; vortici elettricamente carichi quantizzati in elio liquido.³⁷

3.5 Palermo

Lo sviluppo della Fisica della materia a Palermo è legato ai nomi di Ugo Palma e Beatrice Vittorelli Palma. Ugo Palma si laurea in Fisica a Palermo nel 1947; Beatrice Vittorelli quattro anni dopo. Direttore dell'istituto di Fisica era allora Enrico Medi (1911 – 1974); la sua direzione è ricordata dai coniugi Palma così: “questi [sei anni trascorsi dalla fine della guerra] sono stati anni vuoti per l'istituto di Fisica, un ritardo difficile da superare; quegli anni sono stati forse cruciali nel preparare la decisione di Donato Palumbo e Gaetano Riccobono di lasciare Palermo”.³⁸ L'idea di acquisire la tecnica di risonanza paramagnetica elettronica (ESR) venne a Donato Palumbo; solo successivamente, il piccolo gruppo che si stava formando acquisì la consapevolezza che la tecnica ESR poteva essere ampiamente utilizzata per lo studio delle proprietà dei solidi. L'arrivo a Palermo di Mariano Santangelo come direttore dell'istituto segna un punto di svolta: “egli portò un'atmosfera, prima sconosciuta, di incoraggiante amicizia, di discussioni e di duro lavoro. Diede spazio ad ogni attività o progetto che avesse possibilità di sviluppo. La sua presenza aprì un decennio di grande stabilità, presupposto di tutti gli ulteriori sviluppi”.³⁹

Nel 1953 i coniugi Palma vanno al MIT con due borse di studio: qui entrano in contatto con diversi fisici, tra cui J. H. Van Vleck. Alla fine del '54 sono di ritorno a Palermo e si impegnano nella costruzione di uno spettrometro EPR, il cui pregio principale è l'elettromagnete, progettato in loco, con un'eccellente omogeneità e stabilità di campo e la possibilità di essere ruotato.

Nel 1957 la Regione Siciliana istituisce e finanzia un comitato regionale per la ricerca fisica: cento milioni di lire all'anno (corrispondenti a circa 2,1 mld del 2001) da distribuirsi tra le tre Università siciliane. Anche l'INFN viene coinvolto nel comitato siciliano con conseguenze positive per il gruppo di Fisica dello stato solido di Palermo: sei tecnici e diverse collaborazioni di ricerca. Con i fondi del

³⁷ Questi risultati furono ottenuti nel 1965; congiuntamente a quelli di Rayfield e Reif (Berkeley, 1963-1964) permisero di determinare le condizioni di stabilità e le proprietà di `questi strani oggetti'. Si veda: G. Careri, F. Scaramuzzi, 'Low temperature physics in Frascati, Padua and Rome', *OSSP*, 103-120, pp. 114-115.

³⁸ U. Palma, B. Palma, 'Electron Paramagnetic Resonance in Palermo', *OSSP*, 137 – 168, p. 142.

³⁹ *Ibidem*, p. 140.

comitato regionale viene anche acquistato un liquefattore di elio (1959) che permette quindi al gruppo di acquisire le tecniche criogeniche.

Gli argomenti di ricerca sviluppati a Palermo sono stati, tra l'altro: interazioni tra transizioni elettroniche e vibrazionali in cristalli magnetici; moti collettivi dei protoni in cristalli non ferroelettrici; cascate di processi ionici ed elettronici innescati a varie temperature in cristalli fotosensibili; risonanza paramagnetica elettronica di radicali liberi.

3.6 La Fisica della materia al CISE

Il CISE (Centro Informazioni Studi Esperienze) fu costituito, come società senza fini di lucro, nel 1946 a Milano con la partecipazione iniziale della Cogne, della Edison e della FIAT. Scopo del CISE era la realizzazione di “studi, ricerche ed esperienze scientifiche in qualsiasi campo, acquisizione e sfruttamento di brevetti”. In realtà, il CISE era stato costituito con lo scopo primario di occuparsi dell'uso civile dell'energia nucleare.

All'interno del CISE fu costituito, nel 1955, il “Laboratorio di Tecnologie” affidato a Elio Germagnoli con il compito di studiare le proprietà dei materiali da utilizzare all'interno dei reattori nucleari. Si sviluppa così un complesso di ricerche, cui contribuiscono, tra gli altri, Aurelio Ascoli e Maria Asdente, riguardanti danneggiamenti da radiazione, problemi di diffusione e corrosione, formazione e mobilità di difetti reticolari nei cristalli, effetto Mössbauer. Verso la fine degli anni cinquanta, Germagnoli, insieme a Fabbri ed Emilio Gatti, dava inizio ad un campo di ricerche nuovo per l'Italia: lo studio della vita media dei positroni nei solidi.⁴⁰

3.7 La Fisica della materia a Ispra

Alla fine del 1957, il CNRN (Comitato Nazionale Ricerche Nucleari, istituito nel 1952), d'intesa con Fumi e Giulotto, favorisce la creazione di un piccolo gruppo di ricerca a Pavia con la prospettiva di trasferirlo nel costruendo centro nucleare di Ispra. Il gruppo è coordinato da Paolo Camagni (1931 - 2000) che si trasferisce a Ispra nel 1959. Qui viene raggiunto da Adriano Manara (proveniente anch'egli da Pavia) e da Alfonso Merlini cui viene affidata la direzione del gruppo. Il lavoro del gruppo di Ispra si articola su due filoni di ricerca: il primo, che fa capo a Camagni, riprende e sviluppa le tematiche già affrontate a Pavia sulle proprietà e i metodi di produzione dei difetti reticolari dei solidi cristallini; il secondo, coordinato da Merlini, riguarda lo studio dei cristalli con tecniche utilizzanti raggi X. Merlini aveva

⁴⁰ Si veda: A. Ascoli, M. Asdente, ‘Solid state physics at CISE under Elio Germagnoli’, *OSSP*, 169-182.

precedentemente lavorato all'Università dell'Illinois (dottorato), a Parigi (con André Guinier) e, successivamente, a Berkeley. Vengono stabiliti rapporti di collaborazione con L'Oak Ridge National Laboratory di Argonne, il cui direttore della Sezione di Fisica, S. Billington, svolge funzioni di consulente per quanto concerne il programma di ricerca del gruppo di Ispra. Le difficoltà connesse all'impianto dei nuovi laboratori vengono accentuate dalla decisione (1959) di trasformare il Centro di Ispra in una struttura della Comunità Europea. Il Laboratorio di Fisica dello Stato Solido rimane sotto l'egida del CNRN (trasformatosi in CNEN nel 1960) sino alla fine del 1961: tuttavia, ha subito inizio una revisione dei programmi di ricerca per adattarli alle finalità della nuova istituzione. Un'attenzione particolare viene rivolta al composto dell'uranio UC , uno dei possibili combustibili di un nuovo reattore. Vengono così sviluppate tecniche per lo studio delle proprietà vibrazionali e di riflettività dei cristalli. La trasformazione del Centro in una struttura comunitaria ha tuttavia progressivamente ridotto il ruolo del Laboratorio di Fisica dello stato solido.⁴¹

3.8 Stato solido e diffrazione di neutroni: Ispra e Roma

Nella prospettiva della costruzione del centro di Ispra, il CNRN, su proposta di Amaldi, decise di costituire un gruppo di ricerca per lo studio delle proprietà dei solidi con la diffrazione di neutroni. Inizialmente (1957) sono coinvolti nel progetto Giuseppe Caglioti, richiamato da Argonne, Antonio Paoletti e Francesco Paolo Ricci. Durante la costruzione dello spettrometro e l'installazione del reattore a Ispra, i componenti del gruppo di ricerca sono inviati a lavorare per un periodo di circa dodici mesi in alcuni laboratori statunitensi: Caglioti a Chalk River, Paoletti a Brookhaven e Ricci al MIT. Al loro rientro in Italia, i progetti erano cambiati: il CNRN si era trasformato in CNEN e il Centro di Ispra era divenuto un centro della Comunità Europea. Il CNEN decide quindi di creare un proprio centro di ricerca a Roma (alla Casaccia): Caglioti e Ricci vanno ad Ispra, mentre Paoletti va alla Casaccia dove mette a punto il primo spettrometro europeo a neutroni polarizzati che viene utilizzato per studiare la densità di magnetizzazione in metalli e leghe ferromagnetiche. I due gruppi diventano operativi a partire dal 1960; tuttavia, il "caso Ippolito", che sconvolge il CNEN nel 1963, ha riflessi negativi anche sull'attività di ricerca di questi gruppi.⁴²

3.9 Fisica sperimentale e Fisica teorica

⁴¹ Si veda: P. Camagni, A. Merlini, 'Research in solid state physics at Ispra', *OSSP*, 183-190.

⁴² Si veda: G. Caglioti, 'The beginning of neutron diffraction in Italy', *OSSP*, 191-196.

La mappa sinora delineata mostra che la Fisica della Materia nasce in Italia, prevalentemente, come Fisica sperimentale, collocandosi quindi nell'alveo della tradizione italiana d'anteguerra. Tuttavia, il ruolo svolto congiuntamente da Caldirola e da Fumi ha favorito, sin dall'inizio, la creazione di un robusto e vivace filone di ricerca teorica nel settore della Fisica dello stato solido. Inizialmente, gli argomenti di ricerca riguardavano la termodinamica dei processi irreversibili (Fieschi), i difetti reticolari nei solidi ionici e nei metalli (Bassani, Fumi, Tosi),⁴³ i livelli elettronici delle molecole biatomiche (Fieschi, Fumi), le proprietà tensoriali dei cristalli (Fumi). Successivamente, Bassani intraprende lo studio dei livelli elettronici nei cristalli isolanti e nei semiconduttori (teoria delle bande),⁴⁴ Gianfranco Nardelli e Nice Terzi si occupano dello studio delle vibrazioni reticolari e delle loro interazioni con gli stati elettronici dei solidi.

4. Il processo di istituzionalizzazione

La natura policentrica della nascita della Fisica della materia in Italia ha fatto sì che i contatti tra i ricercatori delle varie sedi siano stati prevalentemente indiretti, attraverso i congressi della SIF e, più tardi, attraverso le scuole di Varenna, in particolare quella del 1956 organizzata da Giulotto, quella dell'anno successivo organizzata da Fumi e quella del 1960, organizzata da Gozzini.

Il primo riconoscimento istituzionale della Fisica della materia avviene nel 1961 con l'introduzione nel nuovo piano di studi del corso di laurea in Fisica⁴⁵ dell'insegnamento di *Struttura della materia*.⁴⁶

⁴³ Fumi e Tosi hanno sviluppato diversi aspetti della teoria dei cristalli ionici: in particolare essi hanno ottenuto una nuova predizione teorica del valore dei raggi ionici e hanno studiato i potenziali cristallini, le proprietà termodinamiche, le transizioni di fase, e le forze interioniche. Si veda: F. Bassani e M. Tosi, 'Theoretical research in the Physics of solids', *OSSP*, 129 – 136, p. 131.

⁴⁴ I primi lavori di Bassani utilizzano il cosiddetto metodo delle 'onde piane ortogonalizzate': applicato al caso del silicio esso fornisce, senza l'uso di parametri, una struttura a bande in buon accordo con l'esperimento. Successivamente, Bassani utilizza il cosiddetto metodo dello 'pseudopotenziale' che si adatta particolarmente al calcolo della struttura a bande di semiconduttori a simmetria cubica. Si veda: F. Bassani e M. Tosi, 'Theoretical research in the Physics of solids', *OSSP*, 129 – 136, pp. 130-131.

⁴⁵ Decreto presidenziale n. 1692 del 26 luglio 1960.

⁴⁶ La denominazione 'Struttura della materia' è dovuta a Giorgio Careri. Si veda l'intervista di Careri.

La prima forma di aggregazione dei gruppi di Fisica della materia si realizza attraverso richieste coordinate di finanziamenti al CNR da parte di quei gruppi che operano in connessione con le sezioni dell'INFN.⁴⁷

Durante il congresso della SIF di Bari dell'ottobre del 1963, un gruppo di ricercatori universitari di Struttura della materia decide di costituire un 'foro permanente' denominato GISM (Gruppi Italiani di Struttura della Materia) avente lo scopo di "promuovere lo sviluppo delle ricerche di Fisica atomica, molecolare e degli stati di aggregazione della materia": segretario del gruppo viene nominato Giorgio Careri.⁴⁸

Il 22 novembre dello stesso anno si svolge a Roma una riunione di rappresentanti dei gruppi di Fisica della materia (Boato, Careri, Chiarotti, Fieschi, Gondi, Gozzini, Montalenti e Santangelo) con il presidente del CNR Giovanni Polvani e il presidente dell'INFN Edoardo Amaldi. Polvani suggerisce di costituire una struttura del CNR per coordinare la ricerca della Fisica della materia.⁴⁹

Il 25 maggio 1964 una delegazione del neonato GISM (composta da Careri, Chiarotti, Giulotto e Sette) presenta a Polvani una proposta di statuto per la nuova struttura. Nel luglio successivo, il Comitato per la Fisica del CNR delibera "la creazione di un gruppo di lavoro per la Struttura della materia" con il compito "di promuovere il coordinamento delle ricerche che fanno nelle varie sedi le persone ad esso aderenti". Il 'gruppo di lavoro' viene invitato a presentare "al Comitato per la Fisica programmi di ricerca, richieste finanziarie e relazioni conclusive in maniera unitaria e coordinata". Nel contempo il Comitato per la Fisica stabilisce le afferenze al 'gruppo di lavoro' e stanziava per il secondo semestre 1964 un finanziamento di 263 milioni (pari a circa 4,3 miliardi del 2001).⁵⁰

Il GISM (poi GNSM, Gruppo Nazionale di Struttura della Materia) viene formalmente costituito da una delibera del Consiglio di Presidenza del CNR il 17 dicembre 1964. Il 13 aprile 1965, il Consiglio di Presidenza del CNR prende atto che il 25 gennaio erano stati eletti, a norma di statuto, il Presidente (Chiarotti) e il Consiglio Direttivo del GISM (Bassani, Boato, Fieschi, Giulotto, Gozzini e Montalenti).

I finanziamenti dei tre anni successivi sono contenuti nella tabella 1.⁵¹

⁴⁷ G. Chiarotti, 'L'ingresso del CNR e la crescita negli anni '60', in *Atti del Convegno Nazionale di Struttura della Materia*, (Pavia, 1982), Bologna, 1987, 45 – 53, p. 46.

⁴⁸ Ibidem.

⁴⁹ Ibidem.

⁵⁰ Ibidem, p. 47.

⁵¹ Ibidem, p. 48.

Anno	GNSM	Lire 2001	Anno/1965	CNR	%
1965	470	7360,6	1	21000	2,24
1966	610	9365,7	1,27	26000	2,35
1967	792	11921,6	1,62	32000	2,47

Tabella 1. Finanziamenti del GNSM in milioni di lire. L'ultima colonna riproduce la percentuale dei finanziamenti CNR devoluta al GNSM. La quarta colonna indica l'incremento (in termini reali) dei finanziamenti GNSM.

Il 10% circa dei finanziamenti erano a disposizione del Consiglio Direttivo per interventi programmati o urgenti. Per esempio, sui fondi a disposizione del Consiglio Direttivo viene realizzata la prima Scuola Nazionale di Struttura della Materia (a Perugia, 1966); nel 1967, 14,7 milioni (pari a circa 221 milioni del 2001) sono impiegati per borse di addestramento di giovani ricercatori; sempre nel 1967, 25 milioni (376 milioni del 2001) vengono stanziati per il progetto di ricerca basato sull'uso della radiazione di sincrotrone. Sui fondi a disposizione dei progetti di ricerca delle singole unità vengono invece stanziati 57,2 milioni (861 del 2001) nel 1967 e 63 milioni (936 del 2001) nel 1968 per un programma biennale di Fisica applicata.⁵² Questi dati, pur nella loro schematicità, sono significativi. I fondi venivano stanziati dal CNR e messi a disposizione del GNSM sulla base di un programma di ricerca: il Consiglio Direttivo (di natura elettiva) del GNSM provvedeva alla gestione dei fondi a sua diretta disposizione e al finanziamento delle singole unità di ricerca sulla base dei programmi da queste presentati e di una discussione collegiale di questi programmi con i responsabili delle unità.

La scarsa visibilità della Fisica della materia presso l'opinione pubblica e la difficoltà di reperire i finanziamenti indussero il GNSM alla pubblicazione di un *Notiziario*. Il primo numero porta la data dell'ottobre 1966. Nella presentazione si legge:

La ragione fondamentale che ci ha spinti è il desiderio di diffondere informazioni e commenti sui progressi di un campo della fisica che in questi ultimi anni ha avuto un grande sviluppo, la fisica degli stati di aggregazione della materia: atomi, molecole, stato solido, stato liquido.

[...]

E' nostra viva speranza che la pubblicazione di questo Notiziario, oltre ad essere di immediata utilità ai ricercatori che operano nel campo

⁵² Chiarotti commenta: "Il programma ebbe un buon successo dal punto di vista scientifico, anche se, mancando l'interlocutore industriale, la rilevanza dei risultati rimase limitata all'ambito dello stesso GNSM". Ibidem, p. 50.

della struttura della materia, servirà ad ampliare la conoscenza dei problemi della fisica presso un più vasto pubblico.

E' nostra impressione che un'azione in questo senso sia ora tempestiva, data la diffusa opinione che solo la fisica nucleare meriti di essere coltivata su vasta scala. Questa opinione trova riscontro in Italia in un impegno di mezzi e di persone nettamente polarizzato nella fisica nucleare, situazione caratteristica ormai dei paesi industrialmente sottosviluppati.⁵³

Il Notiziario, prezioso per una ricostruzione storica, verrà pubblicato sino all'aprile del 1969: nel saggio di Casella sono riprodotti due interventi di Giulotto sulla ricerca scientifica in Italia.

Alla fine degli anni sessanta, la Fisica della Materia costituiva una realtà riconosciuta nel panorama della ricerca in Italia. Il ventennio trascorso dalla fine della guerra aveva permesso, pur attraverso grandi difficoltà connesse alla fase della ricostruzione del paese e grazie all'impegno delle persone citate (e di molti altri), il radicamento di questo nuovo settore di ricerca: la tabella 2 mostra la consistenza del GNSM nel 1968. Nel 1970, il CNR istituisce tre laboratori nazionali di Fisica della Materia applicata: Parma, Pisa e Roma.

	Sede	Responsabile	Argomenti di ricerca
1	Bologna	P. Gondi	Difetti reticolari nei metalli e nei semiconduttori. Tecniche generali di microscopia elettronica
2	Cagliari	P. Manca	Preparazione e proprietà fondamentali di solidi e semiconduttori
3	Catania	I. F. Quercia	Fisica dei metalli e degli stati molecolari
4	Ferrara	A. Drigo	Ferromagnetismo e fisica dei metalli
5	Genova	G. Boato	Fisica dei metalli e fisica molecolare
6	Casaccia	A. Paoletti	Proprietà elettroniche dei solidi
7	Ispra	G. Caglioti	Diffrazione e spettroscopia neutroni
8	Milano	G. F. Nardelli	Elettroni, fotoni e spettroscopia della materia
9	Milano Politecnico	P. A. Bisi	Spettrometria di sistemi atomici con tecniche impulsive
10	Milano CI-SE	E. Gatti	Semiconduttori e materiali speciali per elettronica
11	Modena	M. Santangelo	Proprietà ottiche ed elettriche dei cristalli molecolari

⁵³ 'Breve presentazione di un importante settore della ricerca fisica', *Notiziario GNSM*, n. 1, ottobre 1966, p.1.

12	Napoli	A. Carrelli	Ferromagnetismo e proprietà ottiche dei solidi e lamine
13	Napoli	M. Marinaro	Teoria a molti corpi
14	Padova	M. Santini	Basse temperature
15	Palermo	F. Fumi	Fisica teorica degli stati aggregati
16	Palermo	M. U. Palma	Proprietà degli stati condensati a varie temperature
17	Parma	G. Dascola	Risonanze magnetiche
18	Parma	R. Fieschi	Magnetismo e proprietà dielettriche
19	Parma	A. Levialedi	Proprietà magneto ed elettroniche: elettroluminescenza. Preparazione di cristalli semiconduttori.
20	Pavia	L. Giulotto	Risonanze magnetiche in solidi e liquidi e proprietà ottiche di isolanti e semiconduttori
21	Pisa	F. Bassani	Teoria dei livelli elettronici nella materia allo stato solido
22	Pisa	A. Gozzini	Struttura della materia
23	Roma Politecnico	D. Sette	Ultrasuoni e struttura della materia
24	Torino	G. Bonfiglioli	Luminescenza cristallina
25	Torino	G. Montalenti	Proprietà ferromagnetiche e magnetiche della materia

Tabella 2: il GNSM nel 1968. Fonte: Notiziario GNSM, anno III, n. 3, Ottobre 1968.

Le vicende narrate fanno emergere alcune caratteristiche tipiche dei processi che conducono una comunità scientifica nazionale, che è rimasta ai margini dello sviluppo *complessivo* della sua disciplina, ad orientarsi nel mutato quadro della ricerca, ad appropriarsi delle nuove conoscenze, a riprendere il cammino verso la piena integrazione nella comunità scientifica internazionale, peraltro frantumata dal conflitto mondiale:

- La relativa facilità con cui si acquisiscono nuove tecniche, purché non comportanti grandi investimenti: si pensi alla risonanza magnetica nucleare o alle tecniche delle basse temperature. La separazione temporale delle relative acquisizioni è sicuramente dovuta alla diversa entità dei fondi necessari: praticamente solo residui bellici per la risonanza, acquisto di macchine per le basse temperature.

- La scelta di nuovi filoni di ricerca è essenzialmente determinata dalle caratteristiche delle situazioni *locali* e dai contatti con altri studiosi sia italiani che stranieri. Mancava, né avrebbe potuto esserci, una visione complessiva di quella che era allora la ‘fisica della materia’: il ritardo con cui si intraprendono in Italia ricerche sui semiconduttori e sulla superconducibilità è un chiaro sintomo di questa situazione.
- Il ruolo fondamentale, anche se oscuro, svolto prima dai congressi della SIF, poi anche da altre forme di aggregazione, nella progressiva, lenta acquisizione di una visione condivisa della disciplina e della propria collocazione culturale ed organizzativa al suo interno.

Gli uomini di scienza che in Italia, nell’immediato dopoguerra, hanno ripreso ad ‘interrogare la natura’, devono essere ricordati insieme a tutti coloro che hanno contribuito alla ricostruzione del nostro paese. Le loro vicende personali sono una testimonianza del clima di impegno, duro lavoro ed entusiasmo che hanno caratterizzato gli anni della ricostruzione. Questo nostro lavoro vuole anche essere un atto di riconoscenza per l’opera da loro compiuta.

5. Ordine e disordine nella ricerca scientifica⁵⁴

Le vicende della Fisica in Italia nel secondo dopoguerra attendono ancora una ricostruzione storica complessiva. E’ tuttavia possibile, sin d’ora, individuare alcune chiavi di lettura che tengano conto dei seguenti elementi di analisi:

- La progressiva integrazione tra scienza e tecnica e l’aumento delle dimensioni e dei costi dell’impresa scientifica hanno comportato la necessità di una “politica della ricerca scientifica” con conseguente ridefinizione dei centri decisionali riguardanti le linee di sviluppo della ricerca.
- L’aumento delle dimensioni delle comunità di ricerca ha prodotto strutture organizzative tali da generare questioni di potere all’interno delle comunità scientifiche e fenomeni di burocratizzazione (prevalenza delle procedure e de-responsabilizzazione dei processi decisionali).
- Il finanziamento di grandi progetti di ricerca pone due problemi: i modi di formazione delle decisioni e i possibili riflessi sulla natura delle co-

⁵⁴ Usiamo qui lo stesso felice titolo di un intervento di Luigi Giulotto – risalente al 1967 – sulla politica della ricerca, riprodotto, in questo volume nel saggio di Casella.

munità scientifiche con rafforzamento degli atteggiamenti dogmatici e di intolleranza nei confronti delle posizioni eterodosse.

La tabella 3 contiene una cronologia di alcuni degli eventi che riguardano le vicende del nostro studio.

Anno	Fisica della Materia	Fisica del nucleo- Particelle elementari	Altri eventi
1945		6, 9 agosto: bombardamento nucleare di Hiroshima e Nagasaki	6, 9 agosto: bombardamento nucleare di Hiroshima e Nagasaki
		Roma, 30 ottobre: nasce il Centro di Fisica nucleare e delle particelle elementari del CNR	
1946		Milano, 19 novembre: nasce il CISE (direttore Giuseppe Bolla)	
1947		Padova, gennaio: nasce il Centro del CNR sugli ioni veloci	
	Firenze: nasce il Centro Microonde del CNR		
	Dicembre: invenzione del point-contact transistor		Dicembre: invenzione del point-contact transistor
1948	Gennaio: invenzione del transistor a giunzione	11 gennaio: inaugurazione del Laboratorio della Testa Grigia (Cervino)	Gennaio: invenzione del transistor a giunzione
1949			
1951		Torino, 1 luglio: nasce il Centro Sperimentale e Teorico di Fisica del CNR	
		Roma, 8 agosto: nasce l'INFN	
1952		Roma, 26 giugno: nasce il CNRN	

1953		Torino, 19 gennaio: l'INFN delibera la costruzione di un elettrosincrotrone	
1954		Aprile: Frascati viene scelta quale sede per l'elettrosincrotrone	
		Ginevra, 29 settembre: nasce il CERN	
1955		Pisa: nasce il Centro Studi Calcolatrici Elettroniche del CNR	Convenzione tra Olivetti e Università di Pisa per la costruzione di calcolatrici
		Il CNRN decide l'acquisto di un reattore di ricerca CP5 da installare in un nuovo Centro a Ispra	
	CISE: nasce il Laboratorio di Tecnologie	CISE: nasce il Laboratorio di Tecnologie	
1956	Frascati, marzo: entra in funzione il laboratorio criogenico	Frascati, marzo: entra in funzione il laboratorio criogenico	
1957		Pisa: inizia la costruzione della CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana)	
		Settembre: il CNRN subentra al CISE nella gestione della realizzazione del Centro di Ispra	
1958		Milano: Giuseppe Bolla lascia la direzione del CISE	
		Roma: inizia la costruzione del Centro nucleare alla Casaccia	

1959	Ispra: viene costituito il Laboratorio di Fisica dello Stato Solido	Ispra, marzo: il reattore CP5 raggiunge la criticità	Olivetti presenta ELEA 9003, primo calcolatore commerciale europeo a transistor
		Frascati, maggio: l'elettrosincrotrone entra in funzione	
		29 luglio: il Centro di Ispra viene ceduto all'EURATOM	
1960	<i>Invenzione del laser</i>		<i>Invenzione del laser</i>
		Pisa: entra in funzione la CEP	
		Roma, agosto: nasce il CNEN	
		Il CNEN approva il progetto ADA (Anello di Accumulazione)	
1962			Bascapé (PV), 27 ottobre: in un incidente aereo muore Enrico Mattei, presidente dell'ENI
			Roma, 6 dicembre: viene "nazionalizzata" la produzione di energia elettrica. Nasce l'ENEL
1963		Frascati: inizia la costruzione di ADONE	Tra il 1963 e il 1964 entrano in funzione le prime tre centrali nucleari: Trino (Edison, poi Enel), Latina (Eni), Garigliano (Iri)
	Bari, ottobre: nasce il GISM (come aggregazione volontaria)		Roma, 10 agosto: Giuseppe Saragat inizia una campagna contro Felice Ippolito, segretario generale del CNEN

1964	Roma, 17 dicembre: il CNR costituisce il GNSM		3 marzo: Felice Ippolito viene arrestato; 29 ottobre: Felice Ippolito viene condannato a 11 anni di reclusione
1966			La sentenza di appello, riduce la pena di Ippolito a 5 anni e 3 mesi
1968		Luglio: nasce il laboratorio nazionale INFN di Legnaro (PD)	Giuseppe Saragat, concede la grazia a Felice Ippolito
			Scoppia la contestazione studentesca
1969		ADONE entra in funzione	
1970	Il CNR istituisce tre laboratori di Fisica della materia applicata (Parma, Pisa, Roma)		
1971		Roma, 15 dicembre: la legge n. 1240 sancisce la completa autonomia dell'INFN	
1994	Roma, giugno: nasce l'INFM (Istituto Nazionale per la Fisica della Materia)		
2001			Roma: nasce l'INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica)

Tabella 3: ordine e disordine nella ricerca scientifica.

Anche un'analisi superficiale della tabella permette di individuare alcuni snodi che hanno profondamente segnato lo sviluppo della ricerca scientifica in Italia nella seconda metà del XX secolo:

- Il bombardamento di Hiroshima e Nagasaki ha drammaticamente posto all'attenzione dell'opinione pubblica mondiale il problema dell'intreccio tra scienza e tecnica e dell'uso delle tecnologie. La possibilità dell'uso dell'energia nucleare a scopi civili ha indotto i paesi industrializzati ad impostare piani di ricerca e sviluppo nel campo della fisica nucleare.
- In Italia, la prima iniziativa parte dalla Edison e conduce, nel novembre del 1946, con il concorso della Cogne e della Fiat, alla costituzione del CISE.⁵⁵ Il CISE predispone un piano che, partendo dalla formazione dei ricercatori e dalla acquisizione di combustibile nucleare e di acqua pesante, possa condurre alla progettazione e costruzione di un reattore nucleare. Nell'iniziativa, nata al Nord, vengono coinvolti Edoardo Amaldi e Bruno Ferretti di Roma.
- Edoardo Amaldi, erede culturale ed organizzativo di Enrico Fermi, si adopera sin dai primi giorni dell'immediato dopoguerra per ritessere le fila della ricerca sulla Fisica dei raggi cosmici e del nucleo. L'immediata costituzione (Roma, 30 ottobre 1945) del Centro di Fisica nucleare e delle particelle elementari del CNR è emblematica dell'importanza attribuita da Amaldi alle questioni istituzionali.
- La costituzione dell'INFN (Roma, 8 agosto 1951), come struttura di coordinamento dei centri CNR di Roma, Padova e Torino, è immediatamente seguita da una sua "ristrutturazione" (9 luglio 1952) comportante un finanziamento annuo, da parte del CNR, di duecento milioni (pari a circa cinque miliardi del 2001).
- La costituzione (26 giugno 1952) del CNRN, organo del CNR, segna un punto di svolta perché risultato di un primo coinvolgimento del governo sulle questioni dell'energia nucleare.

Scopi del CNRN sono:

"1. effettuare studi, ricerche e sperimentazioni nel campo della Fisica nucleare [...]; 2. promuovere ed incoraggiare lo sviluppo delle applicazioni industriali dell'energia nucleare; 3. mantenere i rapporti e svi-

⁵⁵ Racconta Mario Silvestri: "Il 6 agosto 1945 ero una recentissima recluta della Edison, presso la quale avevo preso servizio di primo impiego da poco più di un mese [...] Alla Giunta tecnica il consigliere delegato Vittorio De Biasi aveva chiesto di raccogliere immediate informazioni su questa nuova forma di energia, che aveva permesso con un sol soffio di cancellare un'intera città dalla faccia della Terra." M. Silvestri, *Il costo della menzogna - Italia nucleare 1945-1968*, Einaudi, 1968, p. 31.

luppere la collaborazione con le organizzazioni internazionali e con gli enti stranieri che operano nel campo degli studi nucleari”.⁵⁶

- La politica svolta dal CNRN conduce alla progressiva emarginazione del CISE con il conseguente abbandono del piano di costruzione di un reattore nucleare progettato in Italia. Nel 1955, il CNRN decide l’acquisto di un reattore CP5 (acquistato negli USA) da installare nel costruendo Centro di Ispra che, appena inaugurato, viene ceduto all’Euratom. Conseguentemente, il CNRN si appresta alla costruzione di un proprio centro nucleare alla Casaccia con l’acquisto, negli Usa, di un reattore TRIGA. Il CNRN finanzia anche, istituzionalmente, la ricerca di Fisica delle particelle elementari. Nell’agosto del 1960, il CNRN viene tramutato in CNEN, e acquisisce completa autonomia dal CNR. Il CNEN continua a finanziare, istituzionalmente, la ricerca di Fisica delle particelle elementari sino all’acquisizione della completa autonomia da parte dell’INFN (1971).
- La metà degli anni sessanta è caratterizzata da un’aspra battaglia sulla questione energetica, segnata da eventi drammatici: la morte in un incidente aereo di Enrico Mattei, presidente dell’ENI e il processo, seguito dalla condanna (poi ridotta), di Felice Ippolito, segretario generale del CNEN. Il tema della “nazionalizzazione” della produzione di energia elettrica si intreccia con quello della costruzione delle centrali nucleari. L’esito complessivo della vicenda sarà caratterizzato dalla definitiva esclusione del capitale privato dai settori di produzione dell’energia elettrica e dal fallimento della “politica nucleare” italiana con conseguente dissipazione delle ingenti risorse umane e materiali investite. Al momento del referendum popolare (1987) che ne sancisce la chiusura, sono funzionanti quattro centrali nucleari: oltre a quelle “storiche” del Garigliano, di Latina e di Trino Vercellese, era entrata in funzione, nel 1981, quella di Caorso.

Non deve sorprendere il fatto che si sia dedicato ampio spazio alle vicende della “politica nucleare” italiana che, in modo diretto, ha poco a che fare con lo sviluppo della Fisica della materia. Con la costituzione del CNRN si è creata una procedura singolare di finanziamento di un settore particolare della Fisica: la ricerca “fondamentale” nel campo della Fisica del nucleo e delle particelle elementari viene finanziata direttamente, attraverso i finanziamenti stanziati per il CNRN, da organi dello Stato, saltando ogni valutazione comparativa all’interno della Fisica e tra le varie discipline (come era invece assicurato, almeno in linea di principio, da parte

⁵⁶ I membri del CNRN erano: Edoardo Amaldi, Bruno Ferretti, Enrico Medi, Felice Ippolito, Vittorio De Biasi, Arnaldo Maria Angelini, Panetti e un funzionario del Ministero dell’industria.

del CNR). Inoltre, pur prescindendo dalla singolarità della procedura, si deve sottolineare il fatto che si procede al finanziamento delle ricerche in un particolare settore di una disciplina mediante un provvedimento il cui scopo prioritario è la ricerca nucleare applicata e finalizzata a scopi industriali. La legge n. 1240 del 15 dicembre 1971, trasformando l'INFN in Ente di diritto pubblico, sancisce il finanziamento diretto delle ricerche di Fisica nucleare e delle particelle elementari da parte di organi statali.

Le conseguenze di queste scelte sui modi e sui flussi di distribuzione delle risorse destinate alla ricerca scientifica sono state profonde e durature. I processi imitativi innescati da queste scelte hanno condotto, ai nostri giorni, alla coesistenza di ben tre Istituti Nazionali di Fisica aventi le stesse caratteristiche dell'originale: INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, 1971), INFN (Istituto Nazionale per la Fisica della Materia, 1994) e INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica, 2001). Per ora, nessun'altra disciplina possiede istituti nazionali. A meno di una improbabile inversione di rotta, dobbiamo attenderci una proliferazione degli Istituti Nazionali o di strutture analoghe. L'attuale sistema di finanziamento della ricerca da parte dello stato è assai preoccupante. La Fisica si trova in una situazione privilegiata grazie ai suoi tre Istituti Nazionali; il CNR attraversa una profonda crisi di ristrutturazione e ha comunque perso qualunque funzione di coordinamento dell'intera ricerca nazionale; il cosiddetto cofinanziamento del MIUR è fondato sul principio burocratico della "decisione irresponsabile": i finanziamenti sono infatti 'decisi' da una formula matematica utilizzante punteggi assegnati da referees anonimi.

Considerata la tradizionale debolezza strutturale della ricerca scientifica in Italia, la promozione del suo sviluppo nelle condizioni critiche degli anni della ricostruzione era sicuramente un compito di grande difficoltà. In questo contesto, le scelte operate da scienziati, politici e industriali hanno favorito uno sviluppo della ricerca e della sua organizzazione squilibrato e non rispondente alle esigenze complessive del paese. Dal punto di vista dei finanziamenti, è stata privilegiata la Fisica e, all'interno di essa, la Fisica delle particelle elementari e la Fisica nucleare. La Fisica della materia, che pure ha prodotto ricadute applicative dirette (semiconduttori, laser e, in prospettiva, superconducibilità ad alta temperatura) tra le più significative nel secolo scorso, ha potuto emergere grazie alla funzione di riequilibrio svolta dal CNR.

Tuttavia, le distorsioni più gravi sono state prodotte nel sistema di finanziamento della ricerca: per le resistenze settoriali e la mancanza di un autorevole ed efficace organismo di indirizzo non sarà facile uscire dalla attuale situazione.