

Elio Fabri^(*)

Summary. — Elio Fabri nasce a Roma nel 1930. Studia ad Ostia e a Roma, in buona parte durante il periodo bellico. Mostra precocemente attitudine alla matematica ed interesse per le scienze. È un lettore onnivoro; apprende da autodidatta nel campo della matematica, della fisica e dell'astronomia. È affascinato dalla radio e dalle realizzazioni di Guglielmo Marconi. Si iscrive ad Ingegneria a Roma. Passa poi a Matematica ed infine a Fisica. Decide di dedicarsi alla fisica teorica e si laurea con Bruno Ferretti nel '51. Collabora per un breve periodo con Bruno Touschek. Successivamente si occupa della determinazione dello spin e della parità del K^+ esaminando il modo di decadimento a tre pioni; in questo ambito produce un importante lavoro trattando l'analisi dei momenti angolari di tre particelle in modo relativistico e producendo il ben noto diagramma di Dalitz-Fabri. Marcello Conversi lo invita ad occuparsi del progetto della Calcolatrice Elettronica Pisana — CEP — la prima disegnata e realizzata in Italia su iniziale suggerimento di Fermi. Si trasferisce quindi a Pisa nel 1955 e contribuisce in maniera originale ed importante a questa impresa che risulterà poi fondamentale per i successivi sviluppi della informatica a Pisa e in Italia. Elio Fabri è persona di grande curiosità e di vasti interessi. Ciò lo ha spinto frequentemente a cambiare campo di indagine. Dopo il periodo della CEP nel '59 torna ad occuparsi di fisica teorica ed in particolare di teoria assiomatica dei campi, di teoria dei gruppi e di "simmetrie" delle quali diviene uno dei primi specialisti italiani.

(*) Registrazione del 5 ottobre, 24 ottobre e 19 dicembre 2006.

Si occupa poi per alcuni anni di ricerca astronomica. In parallelo con la sua attività scientifica e in simbiosi con questa, Elio Fabri ha svolto una intensa ed apprezzata attività didattica ricoprendo per molti anni corsi fondamentali del Corso di Laurea in Fisica: Fisica Superiore, Fisica Teorica, Astronomia. Un suo specifico interesse didattico ha sempre riguardato la teoria della relatività. Si è molto occupato di didattica per le scuole secondarie svolgendo e dirigendo corsi di aggiornamento per insegnanti. Ha lungamente contribuito alla diffusione in Italia dei corsi PSSC — “*Physical Science Study Committee*”.

Lei è nato a Pisa?

No, sono nato a Roma nel '30; nessuno dei due genitori era romano, mio padre era di Rieti e mia madre di un paesino della Murgia Barese, un paese che poca gente conosce: Spinazzola. Mio padre era sensibilmente più anziano di mia madre ed aveva 39 anni quando sono nato. Adesso è normalissimo che uno abbia un figlio a 39 anni, ma allora no, allora un uomo a 39 anni era già di una maturità avanzata. La sua grande preoccupazione era che sarebbe andato in pensione a 65 anni, quando io ne avrei avuti 25. Da pensionato era sicuramente difficile che mi potesse ancora mantenere, quindi mi voleva mettere in grado di mantenermi da solo a quell'età lì. Il suo problema era che tipo di studi farmi fare. Inoltre scelse di farmi anticipare gli anni di studio, per cui io ho fatto le elementari in tre anni; ho saltato la prima e la quinta. Ho finito le elementari che avevo nove anni, due anni di vantaggio nella carriera scolastica, ma mi ha creato degli inconvenienti perché stare in classe con i ragazzi e soprattutto con le ragazze di due anni più grandi era una cosa difficile. Facevamo ginnastica e io ero piccolino, gli altri erano alti... Quando dovevamo fare il salto c'era poco da fare, io non ci arrivavo, ero piccolo! Probabilmente questi fatti hanno avuto il loro peso nel determinare un certo tratto del mio carattere che Carlo Bernardini ha chiamato “selvatico”... Ero anche figlio unico.

Suo padre che attività svolgeva?

Mio padre era impiegato all'ufficio tecnico della Provincia, a Roma; anche lui un carattere un po' ribelle, so che se ne andò da casa a 18 anni — stiamo parlando del 1908 — e andò a Roma. Poi, come militare, fece la campagna di Libia, quella del 1911, più tardi la prima guerra mondiale, sempre in Libia. Alla fine della guerra trovò lavoro, ma non aveva alcun titolo di studio di scuola secondaria. Mi pare che la sua carica ufficiale fosse archivistica, ma in realtà faceva un lavoro tecnico, principalmente di progettazione di strade. Un lavoro che lo impegnò molto a lungo, negli anni '30, fu la Via dei Laghi, da Ciampino fino a Velletri. Questo era il suo lavoro: abbastanza impegnativo, ma con stipendio modesto. Aveva una certa attitudine di tipo scientifico, mai emersa bene, anche perché, come ho detto, aveva un carattere un po' ribelle, incapace di impegnarsi molto in modo sistematico. Quando avevo circa tre anni ci siamo trasferiti a Ostia, un piccolo paesino allora; per andare in ufficio doveva prendere il trenino, poi il tram; tra

andata e ritorno se ne andava un bel po' di tempo!

Come ha fatto le scuole superiori?

Feci per quattro anni l'Istituto Tecnico Inferiore che, ad Ostia, era l'Istituto Nautico — la politica del regime fascista, era: "l'Italia sul mare". Erano scuole dotate bene, di buona qualità. Ho finito nel '43, l'anno in cui c'è stato l'8 settembre, la fine della guerra, l'occupazione tedesca, lo sbarco americano a Anzio, etc. Un giorno di settembre siamo stati sloggiati da Ostia — tutto il litorale romano è stato evacuato dai tedeschi che si aspettavano lo sbarco — ed avemmo 24 ore di tempo per abbandonare la casa. Abbiamo portato via quello che si poteva — in treno; non c'era altro mezzo di trasporto — e siamo stati ospitati temporaneamente in casa di conoscenti. Poi il Commissariato degli Alloggi ci assegnò una casa in Via della Croce, al centro di Roma, dove ho passato l'adolescenza fino al 1950.

La mia scelta scolastica successiva era tra un Istituto Tecnico Superiore che mi avrebbe dato, dopo 4 anni, un titolo di studio utilizzabile sul lavoro, oppure il Liceo Scientifico — uniche scuole accessibili dall'Istituto Tecnico Inferiore. Il liceo non forniva un titolo utilizzabile per lavorare, era propedeutico alle sole Facoltà di Ingegneria ed Economia. Io ero abbastanza bravo a scuola e questo fece pendere la bilancia dal lato del liceo!

Come si sono manifestati i suoi interessi? Si erano differenziati in qualche modo?

L'attitudine per la matematica l'avevo mostrata da piccolissimo, anche prima della scuola elementare; mi dicono che ho imparato a leggere a tre anni e anche a fare operazioni e calcoli complicati per conto mio, come passatempo. L'interesse per la fisica e le altre scienze l'avevo, ma, devo dire, che me ne sono accorto dopo. Aggeggiavo, facevo piccoli esperimenti ed ero molto interessato a leggere quello che mi capitava su argomenti di carattere scientifico. Gli insegnanti, più o meno bravi, erano tutti matematici, per cui la fisica l'ho scoperta dopo. Qualcuno dei miei professori ammetteva apertamente di non conoscere la fisica.

Nelle letture che ha fatto da ragazzo, c'è qualcosa che l'ha colpita in modo particolare?

Io leggevo di tutto, ero onnivoro, saccheggiamo, leggevo i libri di mio padre. Ce ne erano di tutte le specie; fra l'altro si era comprato molti manuali Hoepli, che insegnavano a fare una quantità di cose diverse; mi ricordo "*La fabbricazione dei saponi*", "*Il manuale dell'acetilene*"; dentro ci stava della fisica e della chimica. Molti di questi libri li ho ancora perché, un po' dopo l'evacuazione, ci permisero di prendere qualcosa nella casa di Ostia, dove avevamo dovuto lasciare praticamente tutto; prendemmo anche qualche cassa di libri. Uno di questi libri, pubblicato nel 1911 in sedicesimo dalla Hoepli, di ben 900 pagine — valutato ora 200 euro al mercato antiquario —, era intitolato "*Magnetismo ed Elettricità*" ed era una rassegna delle conoscenze sul magnetismo e sull'elettricità, dalla fisica pura fino alle applicazioni tecniche più moderne del tempo; trattava anche di raggi X, di radioattività, ma non c'erano i nomi di Ernst Rutherford o di Albert Einstein.

Si ricorda ancora per caso il nome dell'autore?

Sì, sì, si chiama Grassi, un ingegnere.

Quindi questo libro ha avuto un ruolo importante.

Sì, ci ho imparato un sacco di cose, descriveva anche gli aspetti tecnici, ma poi c'erano dei concetti, definizioni, unità di misura; è strano perché era un libro divulgativo ed è una cosa su cui in questi giorni sto riflettendo. Tra un paio di settimane, dovrei partecipare ad un seminario sulla divulgazione e vorrei mettere l'accento su quanto sia cambiato il carattere della divulgazione scientifica in quasi un secolo; secondo me perché è cambiato moltissimo il destinatario. Nel 1911 quelli non erano libri per il grande pubblico, erano libri per un pubblico colto, non specialistico; non c'era matematica, ma i ragionamenti, le descrizioni erano cose abbastanza serie.

Mi avevano poi comprato la serie di libri della "Scala d'Oro" e ce ne erano alcuni di argomento scientifico. Uno riguardava l'astronomia. A parte vari fatti e aneddoti, una storia che raccontava e che mi colpì era quella della scoperta di Nettuno.

Una storia, in qualche maniera, molto impressionante.

Non avevo la minima idea, come è ovvio, di che genere di mestiere sarei andato a fare. Ma negli anni '70, quando il corso di Fisica Generale lo teneva a Pisa Nestore Bernardo Cacciapuoti, lui mi invitò a fare dei seminari parlando di argomenti un po' a scelta, o complementari al corso, o argomenti un po' più avanzati. Uno degli argomenti che scelsi fu proprio questa storia della scoperta di Nettuno. Era un argomento di meccanica, una applicazione delle leggi della meccanica e della gravitazione. C'era anche il problema epistemologico, cioè: "Trovo una deviazione dalle leggi note, come mi devo comportare?" In quel caso veramente ci fu la controversia: se era la legge di gravità che falliva e che non funzionava più bene alla distanza di Urano, oppure se c'era un altro pianeta.

Certo una bella storia.

C'è un'altra cosa che mi colpì molto durante le elementari, da me fatte durante il periodo fascista. All'epoca si dava molta importanza a tutto il contributo che avevano dato gli italiani; si raccontava la storia di Marconi. Ho fatto la scoperta del mondo elettromagnetico, della propagazione delle onde. La storia di questo ragazzo — mi pare avesse 18 anni — è cosa sulla quale sono tornato in varie occasioni. Ho anche imparato che Marconi aveva idee molto strane sulla propagazione delle onde elettromagnetiche; non si conosceva la ionosfera, non si capiva come le onde potessero propagarsi lungo la superficie della terra. Invece il primo esperimento di Marconi aveva il ricevitore piazzato dietro una collina e lui pensava che le onde attraversassero la collina. In un certo senso è comprensibile che fosse rifiutato dal mondo accademico. Il fatto è che, dal punto di vista sperimentale, aveva notevoli capacità ed anche una competenza pratica acquisita in un periodo di studio a Livorno; aveva frequentato un Istituto Tecnico ed aveva avuto contatti con un professore che era aggiornato sulla costruzione di apparati, sulla produzione di onde elettromagnetiche e cose di questo genere. Marconi era bravo

a fabbricare questa roba, poi però l'interpretazione lasciava a desiderare. Le scoperte di Marconi hanno sicuramente avuto per me un notevole peso.

Come è avvenuta la scelta universitaria?

Ho dimenticato di raccontare una cosa, avvenuta precedentemente, riguardo ai libri che ho letto e studiato. — Questa è una caratteristica della “storia orale” perché uno le cose le fa e poi le ricorda, ma certo non le mette per scritto. Ritorno all'8 Settembre ed al nostro periodo da sfollati, iniziato qualche settimana dopo. In quell'intervallo ci fu il problema di tutti i militari che rimasero sbandati. Ad Ostia c'era il Collegio 4 Novembre, per ragazzi orfani di marinai. Durante la guerra venne chiuso ed adibito — questo lo seppi dopo — a centro di formazione di giovani avieri, in preparazione di un progetto di realizzazione di un radar. Questi ragazzi seguivano un corso di Istituto Tecnico ad indirizzo elettrotecnico e venivano anche istruiti in quella che allora si chiamava radiotecnica. Dopo l'armistizio si dispersero ed alcuni, tre o quattro, vennero in un seminterrato di casa mia e sono rimasti fino a che non fu possibile procurare loro degli abiti civili. Io ero l'unico ragazzo ad abitare in quel piccolo condominio e portavo loro da mangiare; avevo circa 13 anni e loro circa 18. Non so come sia nata la cosa, ma, quando sono partiti, mi hanno lasciato dei libri ed anche il loro materiale di studio, quaderni ed appunti che ho ancora. C'era un libro di elettrotecnica, credo di Cesaro, un testo scolastico piuttosto buono. Ho passato l'inverno del '43 e l'inizio del '44 a studiarli quel libro ed a fare esercizi. Lì ho imparato l'elettromagnetismo! Parlava di motori, trasformatori, correnti trifasi, generazione di corrente alternata, linee ad alta tensione, insistendo molto sulla parte applicativa.

Questo è avvenuto dopo il vostro trasferimento a Roma?

Sì, certo. L'inverno del '43 era quello dell'occupazione tedesca, con difficoltà per circolare e pericoli. In quel periodo cominciai a frequentare l'unico liceo scientifico di Roma: il Cavour.

In quell'epoca era l'unica possibilità?

Beh, c'erano parecchi licei classici: l'Augusto, il Giulio Cesare, il Virgilio. Nel '44, dopo la liberazione, ricomparvero i ragazzi ebrei, che ovviamente erano stati nascosti. La popolazione scolastica aumentò ulteriormente e, nel '45, fu aperto il nuovo liceo scientifico: il Righi, a Via Boncompagni. Al liceo avvenne un altro episodio che stimolò i miei interessi scientifici. Avevo in classe un ragazzo che non andava bene a scuola; era intelligente, ma probabilmente con vari problemi; il padre faceva lo “stagnaro” e lui lo aiutava a bottega. Per fare un esempio, indicativo di come ci si dovesse arrangiare a quei tempi, ricordo che prendeva vecchie batterie per auto con elementi parzialmente rovinati e, smontando e risaldando, da due batterie inservibili ne faceva una buona. Girava anche per la campagna alla ricerca di residuati bellici ed altro. Ci feci amicizia ed una parte del materiale elettronico che trovava, valvole, radio, ricetrasmittitori, lo dava a me. Questo mi fece nascere la passione per l'elettronica — un altro approccio alla fisica, se vogliamo — e cominciai ad aggeggiare per conto mio. Quando frequentai

all'Università il laboratorio del terzo anno, mi trovai molto avvantaggiato rispetto agli altri colleghi in quanto ero l'unico capace di lavorare praticamente con le mani. Beh, credo di aver raccontato tutto sui "prodromi"... Ma la cosa curiosa è che tutto ciò non mi fece capire se avessi una particolare predisposizione per la fisica. Per la matematica invece sì, perché era materia scolastica, andavo bene, studiavo rapidamente ed ho anche dato ripetizioni per aiutare in casa.

Quando ho finito il liceo e sono andato all'Università, mi sono iscritto ad Ingegneria. La fisica, come materia e come corso di studio, era assolutamente sconosciuta allora.

Verissimo! La scelta di Ingegneria era del tutto naturale; moltissimi fisici hanno cominciato così: Ettore Majorana, Edoardo Amaldi, Bruno Pontecorvo...

Poi c'è il fatto che Ingegneria è una cosa che ti dà un mestiere; c'era anche quello! — Questo è vero anche adesso; i ragazzi scelgono Ingegneria perché dicono che si trova lavoro; poi chi sa che lavoro si trova!. Quindi mi sono iscritto ad Ingegneria; poi al secondo anno mi sono iscritto a Matematica. Al terzo anno, dopo l'esame di "fisicon" — l'esame contemporaneo relativo a "Fisica 1" e "Fisica 2" — per il quale avevo studiato seriamente la fisica, mi sono deciso a passare a Fisica. Quindi: tre passaggi, generando qualche preoccupazione in casa!

L'analisi, la geometria, la fisica; chi insegnava queste materie?

Per analisi avevo Mauro Picone. Era un po' baronale e, come ricorda Carlo Bernardini nel suo ultimo libro, si portava dietro l'assistente giovane per farsi cancellare la lavagna. Non solo! Gli faceva pure lezione sul modo giusto di cancellare la lavagna: da sinistra a destra, come le formule che scriveva lui! Le dispense erano abbastanza oscure. Devo dire che non ho avuto una grande passione per l'analisi; può anche essere che fosse un problema di maturità, avevo infatti 17 anni. La geometria invece mi piacque! Il professore era Fabio Conforto, un personaggio effervescente, anche un po' attore. Per spiegare il prodotto vettore disegnava due vettori sulla pedana, poi ci si metteva sopra — era molto alto — e diceva: "Io sono il prodotto vettore"; scenette di questo tipo. Insegnava geometria con un taglio molto intuitivo, che a me piaceva. Aldo Ghizzetti insegnava algebra: matrici, determinanti, sistemi lineari. Ghizzetti era chiaro e preciso, un insegnante migliore di Picone.

E per la fisica?

C'erano Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini. Erano impegnati in varie attività sperimentali al Plateau Rosà, quindi comparivano anche supplenti, come, ad esempio, Ettore Pancini. Le esercitazioni numeriche erano fatte da Italo Federico Quercia e Brunello Rispoli, ma lasciamo perdere... Mi è capitato più volte di correggere dei loro calcoli a lezione.

Amaldi e Bernardini erano personaggi estremamente diversi. Bernardini partiva spesso per la tangente. Si infuriava terribilmente se sentiva parlare in aula; l'aula grande era strapiena perché c'erano anche gli studenti di Ingegneria ed era quindi comprensibile che ci fosse un certo brusio; si metteva a parlare dei quartetti di Beethoven, oppure

abbandonava la lezione e buona notte! D'altra parte, se era in buona, nelle lezioni ci metteva dell'anima; mi ricordo delle belle lezioni sul significato delle equazioni di Maxwell. Amaldi invece era diligente, ma anche un po' piatto; parlava con tono di voce sempre eguale, era scolastico, si poteva studiare bene quello che diceva, ma non entusiasmava granché. Come ho detto, alla fine del secondo anno chiesi di passare a Fisica. Probabilmente ne parlai ai professori durante l'esame di Fisica. Allora questi passaggi erano relativamente semplici. Tuttavia c'era, come dire, un pochino di cerimonia! Venni portato a parlare con Bernardini nei locali seminterrati dell'Istituto, dove stava lavorando con Ettore Pancini e Franco Lepri. Erano dei locali dove c'era un guazzabuglio di roba: contatori Geiger, scatoloni di valvole, etc. Data la mia attività hobbistica mi fece una grande impressione. Poi ho saputo che si procuravano quel materiale dall'ARAR, un ente preposto alla distribuzione di vecchio materiale bellico. Avevo gli occhi di fuori! Per me una valvola era una cosa costosa e rara e loro invece le tenevano amucchiate in scatoloni! L'impressione che mi è rimasta di quell'incontro è l'atmosfera informale. Gli studenti di Fisica erano trattati in modo molto diverso da quelli di Ingegneria. Per esempio, mentre gli studenti di Ingegneria, per accedere all'aula dove si tenevano le lezioni di Fisica Sperimentale, dovevano passare dalla scaletta esterna sul retro dell'Istituto, gli studenti di Fisica erano autorizzati ad entrare dalla porticina che dava all'interno, quella stessa da dove entrava il professore.

Quando lei è entrato, al terzo anno, quanti studenti c'erano?

Mi sembra di ricordare che fossimo nove.

Ricorda qualcuno dei suoi colleghi di quel periodo?

Li ricordo più o meno tutti, però non ho legato molto con loro, anche perché erano già affiatati ed io arrivavo solo al terzo anno; e poi io non ero un tipo socievole. Naturalmente eravamo colleghi, studiavamo insieme, ci aiutavamo uno con l'altro. Ho ancora uno dei miei quaderni di appunti, forse di meccanica statistica, che porta delle annotazioni a matita scritte da Carlo Bernardini perché glielo devo aver prestato. Mi ricordo sia Carlo Bernardini, sia Silvia Tamburini che poi è diventata sua moglie. C'era Giorgio Cortellessa, Luciano Tau, Giustina ed Annetta Baroni, Bianca Maria Belli, Andreina Angelucci e Maria Cervasi che ha poi sposato Giuseppe Fidecaro.

A parte le fisiche, chi teneva gli altri corsi?

Le fisichette erano un po' una bolgia, ma ricordo Giulio Cortini, che allora doveva essere molto giovane e che poi ho conosciuto meglio. Nei laboratori successivi ho incontrato Lucio Mezzetti, Carlo Ballario, Alberto Gigli, Giovanni Boato e Giorgio Careri. Si faceva quello che capitava; la filosofia era quella di insegnare al fisico ad arrangiarsi. Cito una frase di Ballario: "Il fisico è uno che deve imparare a fare i buchi tondi con le lime quadre... ", ah, ah ah! Poi c'era quello che a Roma era chiamato il "pedagogo". Lo faceva Gherardo Stoppini, che doveva essere appena laureato. Raccontava più o meno quello che faceva lui insieme ad Alessandro Alberigi Quaranta; si occupavano di elettronica. Ci teneva molto a raccontare che aveva ricostruito

completamente un oscillografo della Tektronix, “er sincroscopio ” come diceva lui con forte accento “romanesco”. In realtà la figura del pedagogo era nata con scopi diversi, non avrebbe dovuto essere un giovane neolaureato. Avrebbe dovuto seguire un piccolo gruppo di studenti, aiutarli, dar loro consigli per lo studio. Mia moglie, che ha iniziato al primo anno di Fisica, non come me al terzo, ha avuto Mario Ageno, che era ben altra cosa!

Per Fisica Superiore chi si ricorda?

Titolare penso fosse Enrico Persico, che però in quel periodo era ancora in Canada. Le lezioni le faceva Renato Cialdea: un corso di ottica noiosissimo che non mi è servito a molto.

Altri corsi?

Un corso che mi ha influenzato è stato il corso di Fisica Teorica di Bruno Ferretti. Va detto che allora il corso di Teorica, essendo in comune anche con il Corso di Laurea in Matematica e Fisica, finiva con l'equazione di Schrödinger, senza nessuna applicazione. Poi i fisici dovevano studiarsi la meccanica quantistica per conto loro. Era praticamente obbligatorio il corso di Spettroscopia, tenuto da Giacomo Morpurgo, dove si faceva della meccanica quantistica; ma Morpurgo non era molto bravo a spiegare. I teorici dovevano studiarsi il Dirac, la mia passione! Le lezioni di Ferretti erano lezioni che meritavano di esser seguite; lui non era uno capace di tenere sotto controllo il livello delle esposizioni, per cui faceva osservazioni di grande profondità, faceva vedere cose che sui libri non si trovavano. Erano lezioni di cui non si potevano avvantaggiare tutti; sembra un discorso un po' aristocratico questo, ma se uno non era già a un buon livello di suo, neanche le capiva certe cose, non perché fossero difficili, ma perché erano profonde, che è una cosa diversa. Altri libri di meccanica quantistica che ho studiato erano il Persico che, per quanto importante per la storia della meccanica quantistica, era già allora un po' superato, poi lo Schiff ed il Pauling-Wilson. A parte la meccanica quantistica, la prima cosa che ci dicevano al terzo anno era: “Ora studiatevi il Becker”, un importante vecchio libro di elettromagnetismo, tradotto in italiano da Ageno. Per matematica ci sono stati i corsi di Meccanica Razionale e di Fisica Matematica tenuti da Antonio Signorini, che era un personaggio speciale. Signorini era uno che si poteva tranquillamente odiare perché era terribilmente pignolo, rigoroso, monotono; però era anche molto accurato. Devo dire onestamente che mi capita ancora adesso di andare a guardare qualcosa sul suo libro. Per analisi superiore c'era ancora Picone: analisi funzionale e spazi di Hilbert. Va detto che l'analisi insegnata da Picone si caratterizzava per un linguaggio antiquato.

Come è avvenuta la scelta della tesi di laurea?

Avevo deciso di fare il teorico. Ero probabilmente un po' deluso dagli insegnamenti sperimentali per la mancanza di sistematicità: “Uno si deve arrangiare, deve sapersi orientare, deve aver fiuto...”. Tutto questo a me non andava a genio. A riprova di ciò, il mio voto di Laboratorio 3°, un 26, è il più basso del mio curriculum. Dipese dal fatto che non si sapeva che cosa studiare e gli esaminatori non tennero conto della mia capacità pratica di laboratorio. So che la sentii come un'ingiustizia. L'attrazione

per la fisica teorica non era tanto dovuta alla prevalenza della matematica. Ho detto spesso agli studenti: “Non vi fate prendere dall’idea che le difficoltà in fisica vengano dalla matematica; le difficoltà vengono dai ragionamenti fisici. La matematica è un aiuto, uno strumento, un modo di arrivare a capire le cose. Voi potete credere di aver imparato se avete seguito i passaggi di una pagina, uno appresso all’altro; probabilmente invece non avete capito niente!”. Poi, se uno vi fa una domanda, cascate! Il problema è quello della struttura del discorso fisico, in cui anche gli esperimenti, come è ovvio, hanno il loro peso. Io ci ho sempre tenuto! La cosa curiosa è che credo di essere stato abbastanza incompreso anche a Pisa, in questo nostro ambiente. Un anno, nel ’75, mi innamorai della relatività generale e feci una delle mie mezze pazzie; avendo il corso di Fisica Teorica, decisi di fare relatività generale — cosa sicuramente non approvata, essendo Fisica Teorica un corso istituzionale nel quale si suppone che vengano svolti altri argomenti. In quel corso dedicaì non poco tempo a descrivere alcuni esperimenti fondamentali, a descriverli sul serio: come erano stati fatti, quali erano le difficoltà, il significato, il risultato. Ho sempre avuto attenzione per la parte sperimentale della fisica — a parte il fatto che ho sempre aggeggiato con le mie mani. Ne ho conosciuti tanti di ragazzi che si schifano delle cose... “È bello quando uno può fare delle pure deduzioni, ragionare in termini puramente logici” poi il mondo reale è quasi un peccato che ci sia! Io non sono per niente così. Tuttavia la fisica teorica era quella dove si ragionava, dove si capiva. Basta pensare, ad esempio, a quel libretto classico di Heisenberg “*I principi fisici della teoria dei quanti*” pubblicato dalla Einaudi. Il libro inizia con una analisi di tutti gli aspetti osservativi ed operativi, l’aspetto ondulatorio e quello corpuscolare, di come si possano verificare le relazioni di indeterminazione.

Per la scelta definitiva della tesi di laurea, a quali persone si rivolse?

Fare il teorico significava Bruno Ferretti; non c’erano praticamente altri. C’era Giacomo Morpurgo, molto giovane allora, avrà avuto quattro anni più di me, ma le sue lezioni di spettroscopia non mi avevano certo entusiasmato.

Quindi andò da Ferretti.

È curioso questo fatto di Morpurgo. Non so se conosce la sua genealogia?

Non tantissimo devo dire.

Lui è figlio di Maria Castelnuovo e nipote di Emma Castelnuovo, ambedue figlie di Guido, il famoso matematico. Emma Castelnuovo l’ho conosciuta e conosco bene i suoi libri per la scuola media. Pur essendo matematica, si è preoccupata di collegare la matematica alle sue applicazioni pratiche; ha sviluppato una didattica molto diversa da quella tradizionale. Il figlio di Maria ha preso un’altra strada, ha un’altra personalità! Devo dire comunque che io non avevo la minima idea di cosa fosse la fisica teorica di punta. Si spiega con quanto detto prima; il corso di Fisica Teorica finiva con l’equazione di Schrödinger, poi, va beh, c’era il Dirac, che aveva un capitolo finale aperto verso l’elettrodinamica quantistica. Comunque il Dirac è tutto tranne che un libro dal quale si possa capire quali siano i problemi aperti... Quindi io mi rivolsi a Ferretti e decise lui

l'argomento. Ferretti, come ricorda pure Carlo Bernardini nel suo ultimo libro, quando uno andava a chiedergli la tesi, la prima cosa che diceva era: "Bene! Allora adesso mi risolva un po' questi problemi, poi ci rivediamo". Era probabilmente un filtro per vedere cosa uno fosse capace di fare, per capirne la personalità, le attitudini. Non mi ricordo granché dei problemi che mi diede, ma, a quanto pare, ne rimase abbastanza soddisfatto. All'epoca, fine '50 o inizio '51, erano appena usciti i lavori di Richard Feynman — quelli che gli hanno valso il premio Nobel in condominio con Julian Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga — relativi alla rinormalizzazione dell'elettrodinamica quantistica. Era invece aperto il problema delle interazioni forti; si pensava che le particelle di base fossero i protoni ed i neutroni e che i pioni fossero i mediatori dell'interazione, secondo le idee di Hideki Yukawa. Non esisteva ancora una vera e propria teoria. Il lavoro di tesi che Ferretti mi propose era quello di studiare il caso della interazione pseudoscalare pione-nucleone e tentarne la rinormalizzazione secondo la linea indicata da Feynman. — Relativamente alla mia tesi, Carlo Bernardini dice nel suo libro molte cose sbagliate, per difetto di memoria. Il caso del campo pionico, essendo pseudoscalare, era più semplice di quello trattato da Feynman per un campo vettoriale di massa nulla. Ho assolto al compito, ma non ho più neppure una copia della mia tesi! Conservo un manoscritto, quello che detti a Ferretti e sul quale fece alcune annotazioni. Mi ricordo anche che, nell'introduzione, facevo una breve esposizione del lavoro di Feynman; Ferretti mi disse che non avevo capito lo spirito essenziale del lavoro di Feynman; col tempo, dopo aver meglio studiato ed insegnato quelle cose, mi sono accorto che aveva ragione. Ero troppo giovane, troppo immaturo per capire a fondo. Però va anche detto, a mia parziale discolpa, che Ferretti non era uno che ti guidasse molto mentre facevi la tesi; ti dava l'argomento, poi stava a sentire cosa uno faceva; e buona notte, insomma!

Di questo si lamenta anche Carlo Bernardini.

Se certe cose non le avevo capite era perché nessuno si era preoccupato di farcele capire o di segnalarmi che c'erano cose da capire; insomma: un maestro ci sta per questo!

C'era un grosso salto tra la preparazione universitaria e quanto uno doveva affrontare in ambito di tesi.

Ma anche senza salto sarebbe stato un problema comunque, era una cosa completamente nuova. Fino ad allora uno si era limitato a studiare, a leggere dei libri, a fare esercizi, a ragionarci sopra. Poi va all'esame e risponde a domande più o meno difficili. La tesi è un lavoro che devi fare proprio tu; devi imparare a fare una esposizione di argomento scientifico, mica è una cosa da niente! Quando arriveremo a parlare della mia successiva attività di ricerca, verrà fuori che, a quel tempo, non ero per niente al corrente di quali fossero i reali problemi della ricerca, anche della ricerca che faceva la gente dell'Istituto. Non mi ricordo ci fossero attività seminariali e neppure un'attività di orientamento; c'era un po' lo spirito che uno dovesse arrangiarsi da sé e se era bravo lo doveva dimostrare così. La mia tesi era su un argomento ben definito: Feynman ha fatto questo, tu ora applicalo a quest'altra interazione... Perché? A che serve? Che importanza ha? Cosa sarebbe successo se uno capiva o

non capiva? Silenzio! Tutto questo non fu discusso! Stiamo parlando degli anni '50, l'epoca della scoperta delle particelle strane. A laboratorio 4° ci facevano guardare le emulsioni che erano state esposte al Plateau Rosà, si guardavano al microscopio per riconoscere gli eventi e per misurarli. Si riconosceva il decadimento del pione positivo, la cattura di un pione negativo da parte di un nucleo e la produzione di una "stella".

Quelle tecniche inventate da Giuseppe Occhialini e Cecil Powell.

A Roma ci lavorava il gruppo di Annetta Baroni, Giulio Cortini, Carlo Franzinetti, Augusta Manfredini, gruppo diretto da Amaldi. Attraverso quella tecnica furono scoperte le particelle strane. Il lavoro sul τ , lavoro famoso se posso dirlo, è stato un'applicazione di quelle tecniche. Secondo me, a Roma mancava nettamente un lavoro d'istruzione dei giovani ricercatori su quali fossero i problemi importanti. Questo mi pare che fosse un limite della attività dell'Istituto; è ovvio che le persone che facevano ricerca sapevano quello che facevano nel loro particolare settore.

Ferretti fu soddisfatto del suo lavoro di tesi?

Direi di sì; fu soddisfatto perché fu fatto abbastanza velocemente; non c'erano particolari difficoltà, ma certo uno doveva inventare qualcosa, visto che l'interazione era diversa da quella studiata da Feynman; i grafici erano diversi, il tipo di divergenze anche. La tesi non fu pubblicata; immagino che allora quel tipo di conto lo stesse facendo anche molta altra gente. L'argomento della tesi non aveva alcuna prosecuzione di un qualche interesse. Anni dopo si vide che l'idea dei pioni come mediatori dell'interazione era anche sbagliata. Dopo la tesi, l'unico ulteriore lavoro di elettrodinamica che ebbi l'occasione di fare fu in collaborazione con Raoul Gatto e Rosario Liotta; era sulla diffusione fotone-fotone, ma il lavoro non produsse niente di significativo.

Lei si è laureato nel '51; cosa è successo dopo?

Nel periodo romano feci un piccolo lavoro, il primo pubblicato. Era in italiano ed è comparso sulle Lettere al Nuovo Cimento. Si intitolava: "Teoria semiclassica della interazione pione-nucleone". L'idea me la propose Ferretti, prendendo spunto da un librettino di lezioni di Heisenberg. Il lavoro fu pubblicato in contemporanea con un altro che affrontava lo stesso argomento; cosa che mi è capitata più volte. Poi ho avuto l'occasione di lavorare con Bruno Touschek, quando venne a Roma nel '52. Entrò ovviamente in contatto con i giovani teorici dell'Istituto. Non so se sia stato Ferretti a proporgli di darmi qualche cosa da fare; comunque fu lui che sollevò il problema di capire perché le particelle strane, in particolare il mesone $\tau - K$, come si chiama adesso — avesse una vita media così lunga. Fu un lavoretto che comparve sulle Lettere al Nuovo Cimento e fu firmato da Touschek e da me. L'idea era sua ed io feci vari calcoletti. Si tentava di spiegare la lunga vita media del τ mediante un alto spin — in realtà bastava uno spin eguale ad uno e una parità negativa — per cui il decadimento era depresso dalla barriera centrifuga. La spiegazione, come si vide successivamente, era completamente sbagliata. Subito dopo venne fuori una idea diversa; si trattava di esplorare quali fossero i numeri quantici del τ , spin e parità, sulla base dei dati sperimentali. Il gruppo lastre

aveva cominciato a raccogliere dati ed era abbastanza all'avanguardia come disponibilità di dati sperimentali. È da notare che siamo al momento della transizione, dai raggi cosmici agli acceleratori, per quel che riguarda la fisica delle particelle. Avevamo a disposizione i dati relativi ai decadimenti in tre pioni di un centinaio di τ ; si conoscevano le energie e gli angoli di emissione dei pioni. Mi chiesero di tentare di tirar fuori lo spin e la parità del τ dai dati disponibili. A che servisse, quale fosse il problema, quale fosse il suo significato, tutto questo, come al solito, non fu discusso. Io lo vidi come un problema in parte di elaborazione di dati ed in parte di meccanica quantistica, interessante perché di meccanica quantistica relativistica. Bisogna dire che c'era già stato un lavoro di Richard Dalitz che aveva esaminato lo stesso problema con un minor numero di τ e con un modello non relativistico. Siccome l'energia cinetica disponibile dei tre pioni è di circa 80 MeV, trattarli come non relativistici non va tanto bene, non è troppo sbagliato, ma non va tanto bene. Decisi di fare il conto relativistico. Questo allora era un problema difficile perché non si sapeva niente dell'analisi dei momenti angolari di un sistema di tre particelle fatto in modo relativistico. Queste cose sono poi diventate standard, ma allora non era diffusa la conoscenza della teoria dei gruppi ed in particolare delle rappresentazioni del gruppo di Poincaré; non erano nel bagaglio culturale dei fisici. Risolsi il problema per una strada del tutto diversa, partendo dai principi primi ed usando la meccanica quantistica relativistica. La cosa curiosa è che la parte di cui ero più fiero in questo lavoro riguardava il problema di fisica teorica dell'analisi dei momenti angolari in meccanica quantistica relativistica. Invece quello che poi è stato significativo, importante ed apprezzato, era di aver dimostrato che il K aveva spin zero e parità meno, cioè il risultato. Questo, fra l'altro, l'ho capito dopo; tanto per dire come fossi fuori dalle problematiche del tempo. Sarà pure stato a causa del mio carattere, ma mancava, da parte dei maestri, la comunicazione delle cose, anche da parte di Tauschek. La ragione per la quale il mio lavoro ha avuto fama — è stato citato, lo è ancora adesso, si trova nei libri — è che compare nel lavoro di Lee e Yang, quello in cui proponevano la non conservazione della parità e per il quale hanno avuto il Nobel. Era un lavoretto brevissimo, mi pare di due pagine e con una piccola bibliografia di sei o sette lavori; il mio è uno di questi. Cioè la fama è venuta di riflesso; ma il significato del mio lavoro era già stato colto prima, tanto è vero che fui mandato da Amaldi, nel '54, ad un meeting sulle particelle strane a Padova; insomma, ero riconosciuto, facevo parte del comitato sui mesoni τ . Però la fama a distanza di tempo è perché tanti hanno letto il lavoro di Lee e Yang e hanno trovato questa citazione. Io invece del dilemma τ - θ , relativo al decadimento in due pioni da cui emergeva una parità positiva, non sapevo nulla; questa è la cosa incredibile.

Non era completamente consapevole di tutte queste implicazioni?

Nessuno me le aveva dette. In realtà ho capito queste cose molto dopo, per conto mio e per altra strada; allora non ne sapevo nulla. Poi, quando mi sono trasferito a Pisa, ho completamente abbandonato quel filone di ricerca; non ero minimamente consapevole di aver intrapreso una strada di successo!

La cosa è comprensibile perché era un momento di notevole confusione.

Però, anche per questo motivo, se uno ci stava dentro e conosceva le cose, possiamo dire che fosse anche un momento bello. Per uno che fa ricerca, vedere risultati sperimentali imprevisti e che non capisce stimola ad avere idee nuove. È l'ideale per un giovane; però io queste cose non le avevo capite. Fra i "capi" che c'erano allora a Roma, quello che più si dava da fare per tenere i giovani in attività ed informati era Edoardo Amaldi, in confronto con altri, come Touschek e Ferretti, che non avevano questa capacità. Uno dei grandi meriti di Amaldi è stato quello di tenere insieme un gruppo, di formare una scuola, di essere un caposcuola.

Lei ha avuto qualche interazione con Amaldi?

Non particolarmente. Ricordo che una volta mi chiese di spiegare la distribuzione dei getti che emergevano dalla cattura dei pioni negativi su nuclei.

Si ricorda qualche cosa di questo convegno di Padova?

Non mi ricordo molto. Ricordo vagamente qualche persona; poi io non mi muovo bene nel parlare con la gente, nell'incontrare, nel discutere. L'unico nome che ricordo, ma per una ragione del tutto diversa, è Uri Haber-Schaim, che lavorava sui τ e veniva dagli Stati Uniti; l'ho poi ritrovato come uno dei fondatori del PSSC.

Per quanto riguarda Touschek, ha dei ricordi particolari di quel periodo?

"Marialuisa!"; girava con una strana moto a due tempi, di un colore marroncino cioccolato che lui chiamava appunto Marialuisa, con quel suo strano accento. Allora non sapevo che bevesse molto, che fosse praticamente alcolizzato.

Non lo aveva percepito?

No, se non hai esperienza tante cose non le vedi. Era una persona simpatica, ci si stava bene insieme; poi aveva quel suo strano modo di parlare... Comunque nel '54 avevo sostanzialmente mollato la fisica teorica ed avevo cominciato a lavorare al progetto CEP su proposta di Conversi. Dipendeva anche dal fatto che io allora ero insoddisfatto della strada che aveva preso la fisica teorica; avevo dubbi anche sulla meccanica quantistica. Mi ricordo che ero stato abbastanza influenzato dalla lettura del libro di David Bohm, di tipo molto ortodosso, dove però c'era molta attenzione al problema della misura — quello che adesso è diventato il problema della decoerenza, il collasso di un pacchetto d'onde —, che lui analizzava dettagliatamente su qualche modello semplice; cosa che su altri libri non avevo visto e che quindi mi interessò molto. Proprio in quegli stessi anni Bohm cambiò atteggiamento e divenne il sostenitore della teoria delle "variabili nascoste"; ne è stato il primo inventore e si parla ancora del modello di Bohm.

Fu anche questo che la portò a riflettere?

Sì, ad avere dei dubbi sulla validità della meccanica quantistica, ad essere un po' in crisi. Credo che un contatto più stretto con i maestri probabilmente mi avrebbe fatto superare la crisi; invece io lo rimuginavo fra me e me e ciò mi ha portato a dire: "Qui

non si combina niente, non va bene!”.

Ne ha parlato con Touschek?

Non credo. Ma non credo che Touschek fosse poi molto sensibile a queste cose.

E riguardo alla teoria dei campi?

Allora la teoria dei campi era in una fase abbastanza ingenua; in fondo era recente la scoperta della rinormalizzazione.

Quella aveva dato un grande senso di solidità.

Sulla teoria dei campi ho sempre avuto una posizione oscillante; il calcolo relativo al momento magnetico anomalo dell'elettrone, fatto da Schwinger utilizzando la rinormalizzazione, tornava con l'esperimento ed era un risultato impressionante. Il calcolo fu poi rifatto con maggior precisione; nel libro di Feynman "QED" compare con 12 cifre significative. Come fa uno, davanti a una teoria che prevede un risultato sperimentale con tale precisione, a dire che non va? Non puoi certo dire che sia fundamentalmente sbagliata. Dopo però abbiamo altre interazioni, le interazioni forti ad esempio. E non parliamo delle interazioni deboli, nelle quali non si sapeva andare oltre il primo ordine perturbativo. Si volevano costruire queste teorie sul modello dell'elettrodinamica. Ma chi lo ha detto che debba essere tutto uguale... Mi riviene in mente che una delle prime letture indicate da Ferretti come preparazione alla tesi fu quello che chiamavano il "Libro Giallo del Papa". Il Papa era naturalmente Fermi; il libro Giallo del Papa era l'articolo di rassegna sul *Reviews of Modern Physics* del '32. Quello era la Bibbia; tutto era modellato su quella struttura di base. La teoria di Yukawa, sui pioni come mediatori delle interazioni forti, era costruita su quel modello.

I problemi sono venuti dopo, quando si sono arricchite la fenomenologia e le scoperte. Quando sono usciti fuori prima tre e poi quattro quarks, ma siamo ormai negli anni '60 e '70. Però io avevo i miei dubbi, non ero convinto. I dubbi sulla meccanica quantistica li ho abbandonati, adesso penso che il problema non sia lì; la meccanica quantistica, nell'ambito in cui è nata, è la cosa giusta. Ho 80 anni di età... Nel frattempo le scale, sia di energia che di dimensioni spaziali, sono andate oltre la scala atomica non so di quanti ordini di grandezza; non si può mica pensare che la meccanica quantistica debba continuare a funzionare sempre e per forza. Bisogna farsi venire il dubbio! Anche le recenti teorie, come quella delle stringhe, in ultima analisi, accettano la meccanica quantistica come base. I modelli teorici, siano essi il Modello Standard, la Quantum Chromodynamics, le stringhe, poggiano sempre sulla meccanica quantistica. Il mio problema è che ho dei dubbi sul fatto che questa base di appoggio sia ovunque valida. È vero che, ragionando in termini newtoniani, la meccanica è andata avanti per tre secoli e che sono passati solo 80 anni per la meccanica quantistica. Ma c'è stata una grande accelerazione nel lavoro di ricerca; forse servirebbe inventare qualcosa di nuovo, servirebbe un altro Heisenberg... Anche la gente che studia la Quantum Gravity, in ultima analisi quantizza... operatori... relazioni di commutazione... Nessuno si immagina qualcosa di diverso. Cosa? Io naturalmente non lo so, non solo non lo so, ma non ho più l'età!

In quel periodo non me la sono sentita di continuare. C'entra anche una certa mia volubilità; non sono stato mai stato capace di restare molto a lungo in un filone di ricerca.

Tende ad incuriosirsi di altre cose; dicendo "volubile" uno dà un senso implicitamente negativo.

Sì, d'accordo, però bisogna dire che è una cosa che danneggia. Alcune volte, quando ho presentato dei lavori per un concorso, per esempio, di fisica teorica, mi hanno detto che alcuni non erano pertinenti, quindi: buttali via! Non contano!

Parliamo ora del suo trasferimento a Pisa. Per quale ragione lasciò Roma?

Come capita spesso nella vita sono coincise due cose; la prima era legata alla scontentezza ed ai dubbi riguardanti gli indirizzi presi della fisica teorica, la seconda era legata a Conversi ed al progetto della "calcolatrice pisana". Non credo che Conversi sapesse quello che mi passava per la mente quando mi propose di andare a Pisa, né io mi rendevo conto che il lavoro sui K fosse la cosa che, ancora adesso, la gente considera come quella più importante da me fatta; un po' curioso veramente... , ma sono in gran parte conosciuto per quel lavoro lì. Conversi si era messo alla ricerca di persone per questa nuova impresa della calcolatrice.

Che nasceva dal suggerimento di Fermi sull'utilizzo dei fondi inizialmente dedicati al sincrotrone.

Sì, perché inizialmente sembrava che il sincrotrone dovesse essere fatto a Pisa; infatti il gruppo "sincrotrone" ha cominciato a lavorare qui. C'era stato uno stanziamento da parte del Comune di Pisa e delle provincie vicine, messo a disposizione dell'Università, in particolare per la fisica. Una volta presa la decisione di fare il sincrotrone a Frascati, rimanevano questi soldi da spendere; "Che ci facciamo?". Io non ho partecipato a questa fase iniziale; sembra che effettivamente ci sia stato un suggerimento di Fermi — venuto in Italia nel '54, per la scuola di Varenna — di fare un calcolatore, anzi allora si diceva una "calcolatrice" perché i "calcolatori" erano gli uomini che facevano i calcoli; il nome corrispondeva addirittura ad un ruolo del CNR; poi c'erano le calcolatrici, almeno quelle meccaniche ed elettromeccaniche.

Come è stato fatto partire il progetto "calcolatrice"?

Conversi raccolse questa idea di Fermi; avrà parlato evidentemente della cosa con i colleghi di Facoltà e con il Rettore a Pisa. Si doveva decidere come utilizzare questi fondi — erano 120 milioni di lire, probabilmente corrispondenti a 2.5 milioni di euro odierni —, una cifra abbastanza rilevante. Fu presa la decisione, probabilmente in Senato Accademico, di istituire un comitato tecnico composto da tre professori universitari. Uno era Marcello Conversi, un altro era Alessandro Faedo — il matematico docente di Analisi che si era sempre interessato agli aspetti applicativi delle matematiche —, il terzo era Ugo Tiberio — professore della Facoltà di Ingegneria —, quello che forse ne sapeva di più. Lo stato delle competenze in Italia, in materia di calcolatori, non era certo molto elevato. Tiberio entrò nel comitato perché, una

volta costruito il calcolatore, questo avrebbe potuto essere utile agli ingegneri. Era comunque un comitato di supervisione; nessuno dei membri aveva l'intenzione o la pretesa di partecipare al progetto. Dovettero quindi affrontare il problema di reperire un gruppo di persone che ci lavorasse. Da vari documenti risulta che la Facoltà di Ingegneria, in particolare, temeva che le forze disponibili in ambito universitario fossero insufficienti e probabilmente inadeguate. Loro pensavano di non saperne molto e che, grosso modo, nell'Università non ne sapesse molto nessuno. Sottolineavano quindi la necessità di appoggi in ambito industriale. Ciò si concretizzò nella collaborazione con la Olivetti. Quella della collaborazione è una storia complicata ed io non ne so molto; ero troppo giovane e nemmeno molto interessato alle questioni politiche e alla interazione fra i vari enti. In concreto la Olivetti mise a disposizione del personale assunto ad hoc, non personale con esperienza di calcolatori, anche perché la Olivetti non se ne era mai occupata. Ma decisero di investire in quella direzione e di buttarsi in questa impresa. La Olivetti era specializzata in macchine da scrivere e in macchine calcolatrici di tipo elettromeccanico. Il personale assunto fu distaccato presso una struttura universitaria chiamata CSCE — *Centro Studi Calcolatrici Elettroniche* — e, nello stesso tempo, fu messo in piedi un laboratorio a Barbaricina, nei pressi di Pisa, con altro personale. In quel laboratorio la Olivetti aveva l'intenzione di progettare un'altra macchina — all'epoca i calcolatori erano visti come oggetti specializzati — orientata verso le applicazioni commerciali, la contabilità, l'uso nelle banche. Quindi dicevano: "Voi fate il vostro calcolatore scientifico e noi facciamo un calcolatore che possa essere venduto alle industrie; non si possono fare macchine che vadano bene per ambedue le cose". Fra i due gruppi avrebbe dovuto esserci collaborazione, ma in realtà non c'è stata perché lavorarono su cose ed indirizzi abbastanza diversi. Il contributo importante della Olivetti fu quindi di mettere a disposizione del personale e questo ebbe un peso rilevante; era gente che lavorava! La scelta dei fisici per il progetto fu fatta da Conversi. Attinse a Roma dove, essendo romano, conosceva parecchie persone; poi si sarà consultato con qualcuno; non so veramente. Reclutò tre persone, tutti fisici, ma molto diversi fra loro. Questa fu una buona cosa che ha comportato una certa ampiezza di vedute, punti di vista, conoscenze, esperienze, atteggiamenti molto vari. Una ero io, il secondo era Alfonso Caracciolo di Forino — scomparso qualche anno fa —, un fisico, a dire il vero, piuttosto anomalo, perché era più interessato ai fondamenti della fisica, alla filosofia, alla storia. Ho conosciuto anche altre persone come lui che, quando devono studiare la fisica sul serio, fare i conti, risolvere i problemi, etc. non ne hanno voglia e magari stentano agli esami, faticano e vanno male. Caracciolo era un tipo così, un tipo molto più interessato alla filosofia della scienza, alla logica, che non alla fisica; però queste sue conoscenze, soprattutto nel settore della logica, erano utili. Tanto per dire: da lui io ho sentito parlare per la prima volta del teorema di Gödel e della macchina di Turing; poche persone, anche fra i matematici, conoscevano queste cose, perché la tradizione matematica italiana era più rivolta alla analisi ed alla geometria algebrica e meno alla logica. Viceversa Caracciolo era uno che, quando si parlava di aspetti concreti, era completamente al buio perché i suoi studi di fisica li aveva fatti male. La terza persona era Sergio Sibani, l'esatto opposto di Caracciolo, un

fisico sperimentale come formazione, molto concreto ed indirizzato verso una fisica di tipo ingegneristico; non gli piaceva affrontare questioni di principi e grandi problemi. Se non mi sbaglio, si era laureato con Enrico Persico, poi però aveva fatto esperienza a Milano, al CISE — Centro Informazioni Studi ed Esperienze; consorzio fondato con il sostegno di Adriatica di Elettricità, Falck, Fiat, Montecatini e Pirelli — centro privato che si è occupato di energia nucleare. Sibani aveva lavorato in elettronica con l'ingegner Emilio Gatti e da lui aveva imparato quel po' di elettronica digitale che si faceva allora: il multivibratore, il circuito di coincidenza, etc. Le sue conoscenze furono preziose. Stiamo parlando del '54 quando i calcolatori erano veramente una impresa scientifica; è quasi impossibile adesso capire come si lavorasse allora. I progetti di calcolatori, non solo il nostro, ma anche quelli fatti dalle industrie, venivano pubblicati sulle riviste, non erano affatto considerati cose coperte da segreto industriale. Noi infatti ci ispirammo parecchio al progetto del calcolatore IBM701, apparso sui "Proceedings of the IEEE" — Institute of Electrical and Electronics Engineers — , che, anzi, allora si chiamava IRE — Institute of Radio Engineers. Sulla rivista c'erano gli schemi dei circuiti, la struttura generale, insomma tutte le parti della macchina. Inoltre, all'epoca, non c'era nulla di standardizzato, sia dal punto di vista della architettura generale, che dei circuiti e delle memorie. Queste cose ora sono molto più standardizzate; se uno compra un "chip" di memoria, basta chiedere di quanti "Megabytes" debba essere e quale sia il suo tempo di accesso. La nostra macchina era da pensare da zero: l'organizzazione generale, il tipo di istruzioni, la velocità e, dal punto di vista elettronico, quali componenti usare. Allora si faceva tutto a valvole!

Le dimensioni quindi erano megagalattiche! Ah, ah, ah!

Beh, poi, in corso d'opera, le cose cambiarono. Noi decidemmo di costruire la macchina in due stadi. Il primo stadio era chiamato "macchina ridotta" cioè un modello di prova che fosse relativamente piccolo e non impegnasse tutti i fondi disponibili. Si trattava di verificare la fattibilità generale, che i criteri fossero sensati, che si fosse presa la strada giusta. La seconda fase sarebbe stata la macchina definitiva. Fra la costruzione del modello di prova e l'inizio della macchina definitiva emersero i transistor! Una sfortuna in un certo senso, che ha provocato problemi e discussioni all'interno del progetto CEP. La macchina ridotta era completamente a valvole e, sebbene di piccole dimensioni, aveva un migliaio di valvole!

Quindi c'era il problema del riscaldamento?

Certo, per ogni filamento ogni valvola si mangiava 2 W, un totale di 2 kW, in più c'era la dissipazione anodica; si trattava quindi di ingegneria "pesante".

La costruzione poneva problemi a moltissimi livelli: come alimentare i circuiti e raffreddarli, come costruirli in piccola serie. Ogni elemento di memoria, alcune centinaia, era una scatola con due valvole, questo solo per un "bit". Ora sarebbe un elemento di pochi micron quadrati su un chip. Io non ho conservato nulla, ma al Museo degli Strumenti di Calcolo c'è ancora qualcosa.

Conversi l'ha invitata a partecipare al progetto, ma cosa l'ha veramente attirata verso questa impresa?

Difficile dire; evidentemente lo stimolo a fare una cosa nuova. Come ho già anche detto, fin da ragazzo, dal liceo, avevo cominciato a coltivare l'“hobby” della radio e dell'elettronica; avevo un certo interesse per queste cose. Era sicuramente una cosa affascinante passare da questo insieme di elementi logici, concepito a livello puramente astratto, ad un oggetto rispondente ai requisiti e che doveva poi esser fatto funzionare. Era una sfida interessante!

Però comportava anche lo spostamento a Pisa.

Ovviamente; lo spostamento definitivo a Pisa, con armi e bagagli, l'ho fatto nel '55. Ma noi tre cominciammo a lavorare al progetto già nel '54.

Il gruppo di lavoro era costituito da sole tre persone?

In realtà, quasi immediatamente, a questo gruppo si sono aggiunte altre due persone: Giuseppe Cecchini e Gian Battista Gerace. Cecchini era un ingegnere assunto dalla Olivetti e comandato a lavorare con noi; Gerace, anch'egli un ingegnere, fu preso con una borsa di studio e più tardi divenne dipendente del CSCE. Erano diversi; Cecchini non aveva alcuna conoscenza dell'elettronica digitale; aveva lavorato sui ponti radio, quindi aveva conoscenza di elettronica generale, anzi, a quel tempo si diceva “radiotecnica”. Gerace aveva esperienza di telefonia, allora cosa abbastanza ibrida; esistevano principalmente dei congegni elettromeccanici, ma esistevano anche gli amplificatori per rigenerare il segnale sulle grandi linee di comunicazione intercontinentale; Gerace quindi conosceva un po' di elettronica, ma certo non quella digitale. Quando loro due si sono aggiunti a Pisa, noi tre, che avevamo cominciato a Roma, avevamo già fatto le scelte di base, disegnato il tipo di organizzazione del calcolatore e fornito quindi l'impostazione iniziale. Prendemmo ispirazione da quanto già pubblicato ed aggiungemmo idee nostre. I calcolatori erano un campo nuovo ed aperto, con infinite possibilità di ricerca, di scelta di soluzioni a tutti i livelli, sia di struttura logica che relativamente agli elementi circuitali.

Ho descritto sommariamente le caratteristiche di Caracciolo e di Sibani; le mie sono state esposte nel corso dell'intervista. Io, in un certo senso, stavo nel mezzo; ero un fisico teorico con interessi anche verso la logica e la filosofia della scienza; mi ero interessato agli aspetti concreti dell'elettronica e della radio. Quindi riuscivo ad interagire abbastanza bene con tutti e due mentre loro due, tra di loro, interagivano meno. Il lavoro fu interessante e divertente; mi ci buttai a pieno tempo e, come dicevo, ad agosto nel '55 feci due cose: mi spostai a Pisa e mi sposai, in un colpo solo. Cambiai praticamente mestiere e, cambiando attività, ho messo su famiglia. Nei primi tempi a Pisa avevo uno stipendio totale di ottantamila lire al mese — uno stipendio universitario ed una integrazione dal CSCE. Non c'era da scialare, ma noi due si tirava avanti; poi, dopo due anni, vennero i figli. Lo stipendio era relativo ad un incarico universitario; era una posizione assolutamente precaria, che doveva essere rinnovata di anno in anno dal Consiglio di Facoltà. Il corso era quello di Fisica Superiore, lasciato libero da Salvini che si era spostato a Roma. Avevo 25 anni e la responsabilità del corso era una

cosa abbastanza impegnativa. Allora il corso di Fisica Superiore era un corso importante; nel secondo biennio i corsi cardine di Fisica erano Fisica Superiore e Fisica Teorica.

Il corso di Fisica Superiore ha sempre avuto una certa libertà nella scelta degli argomenti.

Sì, c'era una certa libertà. Infatti fu per me motivo di imbarazzo il fatto che Salvini mi avesse lasciato in eredità anche degli esami da fare ed io non mi raccapezzavo molto con il programma da lui svolto. Organizzai il primo corso essenzialmente su due basi: meccanica analitica e relatività. Poi, dopo alcuni anni, ho cambiato un po' le cose. Tuttavia, quando ancora più tardi, con uno dei miei ghiribizzi tipici, mi saltò il ticchio di non fare più relatività, ma di fare termodinamica, Conversi e Radicati mi chiamarono e mi fecero una ramanzina: "Sì, va bene, il corso, la libertà, ma la relatività i fisici la devono sapere...". Quindi: il programma non era completamente libero! Come ho detto, il corso era abbastanza impegnativo; c'erano tipicamente una trentina di studenti, non solo del Corso di Laurea in Fisica, ma anche studenti del Corso di Laurea in Matematica e Fisica. A ripensarci adesso, quando più maturo, probabilmente non ho tenuto il corso con il taglio più appropriato. Come fanno quasi sempre i giovani teorici, ero molto affascinato dagli aspetti formali e costruivo delle strutture anche troppo rigorose. Poi, agli esami, a volte gli studenti soffrivano. Avevo come studenti molti normalisti: Italo Mannelli, Carlo Rubbia, Luigi Picasso, Bruno Barsella, Vittorio Silvestrini, Giorgio Bellettini, Renato Santangelo. Erano tutti ragazzi in gamba e c'erano anche studenti bravi, ma non normalisti; tuttavia c'erano anche studenti piuttosto scadenti con difficoltà a capire le cose più basilari. Ma allora c'era molta meno attenzione e preoccupazione verso gli studenti; c'era molto più l'atteggiamento: "Se ce la fai, bene! Se non ce la fai, peggio per te!". Ora le cose sono abbastanza cambiate.

L'inizio del suo profondo interesse per la relatività risale probabilmente a quel periodo.

Avevo cercato di approfondire lo studio della relatività generale e, mentre stavo a Roma, avevo letto alcuni libri classici quali: Einstein, *Il Significato della Relatività*, Møller, *The Theory of Relativity*; in seguito avevo anche studiato il Landau, *The Classical Theory of Fields*. Ma con tutto ciò sentivo di non averla capita. Bruno Ferretti aveva insegnato relatività ristretta nel suo corso di Fisica Teorica; aveva fatto tutto in quattro lezioni! Naturalmente gli studenti non ci avevavano capito assolutamente nulla. Dovetti rispiegare il tutto durante le esercitazioni e quella fu la mia prima prova di insegnamento della relatività. Poi ho continuato ad insegnarla, in una forma o nell'altra, con maggiore o minore ampiezza, per tutto il tempo che ho tenuto il corso di Fisica Superiore. Questo è quello che ho fatto come didattica, mentre il lavoro di ricerca era tutto concentrato sul progetto della CEP. Sulla calcolatrice ci sarebbero un sacco di cose da dire, ma quello che vale la pena di riprendere è "il dramma del transistor". Infatti, mentre eravamo a metà del lavoro, cominciarono a diffondersi i transistor, all'inizio poco affidabili, molto delicati; i primi transistor erano al germanio, solo dopo si è affermato il silicio. Il germanio non sopporta alte temperature, quindi già saldare i terminali

ad un circuito era cosa difficile perché bisognava tenere il transistor con delle pinzette se si voleva evitare di scaldare troppo il germanio; poi avevano tensioni inverse molto basse; erano oggetti antipatici! Ma avevano l'enorme vantaggio di essere oggetti piccoli e di dissipare quasi niente. Inoltre, per il tipo di funzionamento, erano più adatti alla elettronica digitale. Tutto ciò sfociò in un conflitto grave e serio fra le varie persone del progetto: sul come ci si dovesse comportare. Il dubbio era se convenisse mandare avanti il progetto così come era nato — quindi sapendo come concluderlo senza problemi, pur nascendo tecnologicamente arretrato — oppure se ci si riconvertiva, si abbandonavano le valvole, si ricominciava con una tecnica nuova della quale non sapevamo niente, buttando via il tempo già speso, assumendo grossi rischi. Le posizioni erano fortemente diverse. Sfociarono in una specie di strano compromesso per cui la CEP venne fatta un po' a valvole ed un po' a transistor, un ibrido. Ognuno ha fatto il pezzo di sua responsabilità come credeva meglio, quindi la macchina è nata così; questo ha fortemente limitato le sue possibilità di sviluppo; era una cosa né carne né pesce.

Lei che ne pensava di questa innovazione?

Io ero decisamente nel filone conservatore; mi sembrava che fosse più importante concludere secondo la linea prescelta ed essere sicuri di arrivare in fondo. L'originalità della macchina era nella sua struttura logica, praticamente indipendente dalla parte "hardware". Non pensavo valesse la pena di rischiare e perder tempo; inoltre avevamo un budget limitato, con il quale si doveva anche pagare il personale; se ci fossero stati dei ritardi, avremmo dovuto cercare finanziamenti integrativi.

Mi sembra di capire che lei desse più importanza alla organizzazione logica della macchina, mentre tutto il resto avrebbe potuto essere migliorato nel tempo.

C'entra probabilmente anche il fatto che tutte le mie conoscenze di elettronica erano basate sulle valvole e me ne sentivo abbastanza padrone. Riguardo ai transistor non sapevo quasi niente, poi, nel tempo, e per altre ragioni, me ne sono occupato. L'elettronica a transistor è abbastanza diversa da quella a valvole; i transistor sono molto meno riproducibili delle valvole e quindi un circuito a transistor deve essere compensato con tecniche di controreazione, che bisogna conoscere. Tutto si può fare e tutto si impara, ma allora era ancora tutto da scoprire! Le scoperte sono state fatte, poi si è visto come sia stata rapida l'evoluzione della elettronica a transistor, quindi, attaccarsi ai transistor di allora avrebbe prodotto qualcosa che sarebbe invecchiato comunque in circa dieci anni.

C'era poi un altro aspetto presente nel nostro conflitto. Man mano che passava il tempo, la gente che lavorava ai calcolatori nel mondo inventava memorie di tipo diverso, le macchine diventavano sempre più veloci. Quindi nasceva il problema: "Facciamo la rincorsa? Cerchiamo di tenerci sempre al "top" della tecnologia?" Io pensavo che fosse inutile correre sempre dietro alle novità, con il rischio di non finire mai la nostra macchina, di non arrivare mai in fondo.

Chi di voi spingeva per l'innovazione?

Ce ne erano due che, curiosamente, erano anche due persone molto diverse: Cecchini e Caracciolo. Cecchini si capisce bene; era ingegnere e per interessi professionali ci teneva a tenersi aggiornato su strumenti, componenti, tecniche. Caracciolo invece più per ragioni di carattere; era un tipo che non amava mai che uno dicesse: "Basta! questo è deciso!". Preferiva rimettere sempre tutto in discussione, tenersi aperto a nuove possibilità.

In pratica raggiungete quel compromesso di cui ha parlato.

Questo però fu un compromesso forzato, con disaccordi che finirono anche sul piano personale e ciò ha nociuto allo sviluppo del Centro. Per queste ragioni, io ho abbandonato il progetto abbastanza presto, prima che la CEP fosse finita. Ho partecipato fino in fondo alla costruzione della macchina ridotta. Fu messa in funzione e l'ho anche utilizzata. Feci dei lavori, poi pubblicati, con alcuni ragazzi giovani, e questo mi porta a toccare il problema della cultura scientifica. Come ho già detto, la gente in Italia non sapeva assolutamente nulla di calcolatori, non solo dal punto di vista della costruzione, ma anche dal punto di vista di come si potessero utilizzare. A noi è toccato anche fare opera di divulgazione, cioè parlare con fisici, chimici, ingegneri, matematici e spiegare, con esempi, il possibile impiego di un calcolatore. Se si confronta quello che si poteva fare allora con quello che si fa oggi, viene veramente da ridere; comunque era meglio che fare i conti a mano.

Che tipo di risposta avete avuto da questa opera di divulgazione?

Varia naturalmente. Io e Caracciolo partecipammo a dei seminari organizzati dalla Facoltà di Scienze a questo scopo, cioè descrivere cosa fosse un calcolatore, come fosse fatto, cosa ci si potesse fare. Il settore che diede la risposta più attiva fu quello dei chimici teorici, che allora si chiamavano chimici fisici. Erano interessati a calcoli complicati di strutture e di molecole; avevano da diagonalizzare matrici grosse, quindi sentivano il problema. Ci furono alcuni che cominciarono, fin da allora, a interessarsi, a lavorare e ad imparare. Un altro lavoro ci fu proposto da un mineralogista. Era quello di fare una trasformata di Fourier tridimensionale per ricostruire, da una figura di diffrazione ottenuta con raggi X, la densità elettronica del minerale. Una cosa banale ora, la si trova dappertutto, ma allora andava inventata. Meno risposte vennero del settore dell'ingegneria; qui a Pisa era piuttosto chiuso; non capivano i problemi né dal punto di vista dell'elettronica, né dal punto di vista del calcolo.

Non erano interessati neppure alla macchina?

Facendo un passo indietro, c'è da notare come questa cosa sia nata da un suggerimento di Fermi, sia stata presa in mano da Conversi, poi Conversi è venuto a Roma ad assumere giovani fisici per fare questo lavoro. Insomma: come fisici, vantiamoci un po' di questo! A quell'epoca gli informatici non esistevano ancora, nemmeno la parola; ma i matematici, per la matematica e la logica, gli ingegneri per l'elettronica, avrebbero potuto interessarsi. Non ci fu in realtà alcuna iniziativa, né si manifestò una qualche sensibilità.

Allora l'elettronica digitale era sconosciuta; i soli che sapessero qualcosa di elettronica digitale, senza rendersene conto, erano i fisici; conoscevano i circuiti di coincidenza e di anticoincidenza, i discriminatori, i multivibratori, etc. Questo fu insegnato anche a me, ma mica mi dicevano che era "elettronica digitale", era "elettronica degli impulsi", cioè, non quella delle forme d'onda analogiche. I fisici, d'altronde, non ricevevano alcun insegnamento in materia di logica o di problemi di calcolabilità, sulle ricerche di Turing o di Church. C'era però una certa apertura mentale. Era una caratteristica del fisico di allora — perché adesso ho l'impressione che sia già un po' diminuita —, questa grande capacità di buttarsi su un problema nuovo e affrontarlo. Ciò spiega perché la calcolatrice sia nata in un ambiente di fisici. Poi gli ingegneri ed i matematici hanno partecipato. Il lavoro sulle trasformate di Fourier, ad esempio, l'ho fatto con Luciano Guerri, che era un giovane matematico.

Le prime persone competenti nel campo dell'informatica sono stati i giovani fisici; molti neolaureati, 10 o 15 anni fa, avendo lavorato per la tesi con i calcolatori, avevano acquistato con questi una certa familiarità.

Ormai l'uso dei calcolatori è diffusissimo, ma basta andare a 30 anni fa ed era appena agli inizi. Saltando di palo in frasca, posso citare un esempio; sarà stato intorno agli anni '80 e, occupandomi di astronomia, scopersi che nell'ambito dell'astronomia teorica, dove ci sono calcoli complessi e la necessità di trattare grandi masse di dati, la conoscenza dei calcolatori non c'era. Gli astronomi non ne sapevano niente, erano molto conservatori; per fare un esempio, la meccanica celeste veniva trattata con tecniche molto antiquate. Io mi misi a lavorare in quel campo e poi la cosa si è piano piano diffusa. Ormai in astronomia tutti i telescopi sono controllati da calcolatore e questo viene usato sia per elaborazione di dati che per elaborazione di immagini. Dopo la nascita dei calcolatori, ci sono voluti decenni prima che fossero effettivamente diffusi, anche fra le persone con preparazione scientifica. Potrei capire per i medici, che non hanno una formazione fisico-matematica, ma gli astronomi... Eppure così sono andate le cose; mi pare una osservazione interessante per la storia della scienza: l'introduzione di nuove idee e nuovi strumenti non si travasa facilmente e rapidamente tra specializzazioni diverse, anche se vicine. Possono passare anni, a volte anche decenni.

Ritornando alla CEP, io non ho partecipato all'ultima fase. Era una macchina obiettivamente nata un po' vecchia. Quando è entrata in funzione nel '60 c'erano certamente macchine molto più potenti e veloci. La CEP aveva soluzioni interessanti nell'ambito della struttura logica, ma non si sono diffuse perché il centro CSCE, forse per incapacità sua, ma anche perché le sue dimensioni erano troppo piccole sul piano della diffusione scientifica, non è riuscito a farsi conoscere ed a farsi capire. Nel frattempo si è instaurato il monopolio dell'IBM e, più in generale, degli Stati Uniti. Questo è stato un problema non soltanto per noi, ma, ad esempio, anche per l'Inghilterra. Riguardo ai calcolatori, la ricerca e l'industria erano all'avanguardia — parliamo degli anni '50 —, più avanzata addirittura di quella americana; la Ferranti era grande ed importantissima, ma alla fine degli anni '50 non ha più retto alla potenza economica

ed industriale americana; la costruzione e la vendita di calcolatori è finita negli Stati Uniti e soprattutto all'IBM. A Pisa, benché avessimo il CSCE ed un calcolatore in funzione ed in uso, è nato il centro scientifico IBM. Quando è stato creato il CNUCE — *Centro Universitario di Calcolo Elettronico* — questo è andato avanti con macchine IBM. È stata una scelta di Alessandro Faedo, nel frattempo divenuto Rettore, che ha indirizzato tutta la politica riguardante i calcolatori. In sostanza Faedo valutava che non si potesse contare sul CSCE come polo di sviluppo significativo, probabilmente a ragione. Siccome però a Pisa si era formato un gruppo di persone capaci e competenti, ritenne opportuno facilitare l'insediamento del centro scientifico IBM e del centro universitario CNUCE. A quel punto la nostra macchina CEP è finita in magazzino.

Però ha avuto una sua importante funzione come battistrada.

Io ho nominato solo le cinque persone presenti all'inizio del progetto CEP, ma il personale aumentò di parecchio in seguito. Un contributo importante lo dette la Olivetti assumendo come tecnici dei diplomati dell'Istituto Tecnico Industriale, dei periti elettronici, dei ragazzi veramente in gamba, giovani, entusiasti, pieni di voglia di lavorare, contenti di fare cose nuove; con loro si collaborava benissimo!

Quindi così si formarono i primi specialisti. . .

Poi, man mano, sono cominciati ad apparire anche dei giovani laureati, quindi persone che avevano conoscenze e competenze; da questo nucleo è nato il Corso di Laurea di Scienze dell'Informazione.

Quando partì questo corso di laurea?

Mi pare intorno al '69, quindi parecchio dopo; comunque è stato, non a caso, il primo in Italia. Poi le cose presero un indirizzo diverso perché gli informatici si sono sempre più orientati nella direzione del "software", sistemi operativi e reti. L'"hardware" è stato relegato in secondo piano. Da qualche anno si è aggiunto un Corso di Laurea in Ingegneria Informatica. Il problema dell'"hardware" era relativo a che cosa mai si potesse fare. Fabbricare circuiti integrati è roba per l'industria; ci vogliono impianti costosissimi, richiedenti grandi investimenti, con rendimenti certi solo in caso di produzione di grandi quantità. Ora li fanno i giapponesi ed i coreani; anche gli Stati Uniti sono fuori gioco. Gli informatici si sono orientati di conseguenza. Il Dipartimento di Informatica è esattamente sopra quello di Fisica; non so se ci sia ancora qualcuno dei tempi della CEP. Come capita spesso, si parla della storia della CEP, ma non nel modo in cui l'ho raccontata io, per la semplice ragione che qui la conosco solo io. Dei pionieri che ho nominato, Caracciolo è scomparso, come pure Gerace; Giovan Battista Gerace si era convertito all'informatica, è stato Direttore del Dipartimento ed ha raggiunto una certa fama; gli è stata dedicata una strada qui a Pisa. Cecchini e Sibani sono ormai pensionati e li ho persi di vista; a Pisa sono rimasto

io solo⁽¹⁾. Anche fra le persone un po' più giovani, qualcuno è scomparso, qualcuno ha cambiato mestiere, qualcuno se ne è andato. Qualcuno che, in tempi recenti, ha fatto la tesi in Informatica, si è occupato della storia della CEP, ma l'ha raccontata dal punto di vista degli informatici. La storia la raccontano anche quelli della Olivetti, ma la Olivetti ha esclusivamente lavorato alla sua macchina ELEAxxx — con dei numeri xxx che ne caratterizzavano le versioni successive; per la Olivetti la storia è quella.

Che decisione prese la Olivetti riguardo ai transistor?

Credo che abbiano scelto di convertirsi direttamente ai transistor. Loro sostengono che l'ELEA sia entrata in funzione prima della CEP; non ricordo se sia vero, anche perché, nel '59, ho abbandonato il lavoro sulla CEP e non ero più informato. La Olivetti, raccontando la storia dell'informatica italiana, mette l'accento sulla macchina da loro costruita, lasciando in ombra la CEP e quello che è stato fatto nel CSCE. Insomma, io sono rimasto l'unico che ricorda... Non solo, ma dietro alle mie spalle c'è quel mucchietto di carte contenente il progetto CEP, gli schemi, i reports interni; la testimonianza del lavoro di quei tempi! Sono documenti personali, ma in qualche archivio ci saranno pure documenti simili. Il CSCE non esiste più; poi a Pisa è stato creato l'IEI — *Istituto per l'Elaborazione dell'Informazione*, oggi ISTI, *Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione*, un istituto del CNR. Probabilmente ha ereditato tutte le scartoffie e gli archivi del CSCE. Non ho parlato del personale. In parte furono assunti dall'IEI; quelli originariamente assunti dalla Olivetti furono riassorbiti da quella stessa ditta; non mi risulta che qualcuno sia stato buttato fuori.

Ricordava di aver abbandonato la CEP nel '59. Cosa ha determinato questo cambiamento?

In larga misura sono stati i dissensi che si erano prodotti; poi c'è entrato il mio carattere ed una mia caratteristica, che non chiamerei "virtù", anche se talvolta ha dei risvolti positivi: non riesco a lavorare a lungo sulla stessa cosa; ad un certo punto mi annoio e voglio cambiare!

Evidentemente c'era qualcosa di nuovo che la incuriosiva molto.

Sono tornato a fare il fisico teorico ed ho conservato l'insegnamento di Fisica Superiore fino al '63; il mio principale interesse fu, per parecchi anni, il tema delle simmetrie.

Un tema che giustifica la sua curiosità!

Il tema delle simmetrie era diventato importante in fisica, non come ai tempi in cui mi sono laureato. Io ne sono diventato un po' uno specialista: simmetrie in fisica teorica, in teoria dei campi, in teoria dei gruppi. L'attività di ricerca ed una parte della

⁽¹⁾ Nota del 2010: l'anno scorso a Pisa si è tenuto un convegno per celebrare i 50 anni della CEP, dove sono stato invitato a tenere una relazione. In quell'occasione ho avuto il piacere di incontrare qualcuno dei "vecchi".

attività didattica l'ho dedicata a questo, nei limiti permessi dal mio corso istituzionale. Ma ho anche tenuto corsi sulle simmetrie alla Scuola Normale e per dei corsi di perfezionamento. Mi sono anche occupato di teoria assiomatica dei campi. Le simmetrie e la teoria assiomatica, perché? Sempre per quella incertezza, quella difficoltà nei confronti della fisica teorica e della teoria dei campi, che si era già manifestata quando stavo ancora a Roma. Le simmetrie sono, in un certo senso, indipendenti dall'esatto tipo di teoria.

Sembravano più affidabili?

In un certo senso sì; era qualcosa su cui si poteva lavorare utilmente anche se non c'era una teoria veramente convincente dietro. Similmente la teoria assiomatica dei campi, della quale mi sono occupato intorno agli anni '60, si proponeva di capire quanto si potesse dire di molto generale, senza fare particolari modelli, ma solo enunciando dei principi di base — questo va al di là delle simmetrie però —, principi come la località e l'invarianza relativistica. Naturalmente non avevo inventato niente; erano settori nei quali già lavoravano personaggi di grande rilievo come Arthur Wightman. In quel periodo c'è stata la collaborazione con Luigi Picasso; ci siamo ad esempio occupati delle rotture spontanee delle simmetrie; per capirle, la teoria dei campi va esaminata da un punto di vista molto generale; una visione assiomatica aiuta. Incidentalmente, questo mi ha richiesto di curare un po' anche il rigore matematico, di fare una matematica pulita. In passato i fisici teorici erano meno rigorosi: “Se un integrale diverge, beh, lo aggiustiamo...”. Ad un certo punto è nata l'idea che il rigore matematico potesse anche far capire meglio la fisica che c'era dietro.

Come era nata questa collaborazione con Picasso?

Come è nata? Bella domanda! Mica lo so. Ho avuto Picasso come studente nel '55, poi è rimasto in Istituto come fisico teorico. Uscito dalla CEP, io sono divenuto membro del gruppo di fisica teorica; forse attraverso lezioni e seminari, avremo trovato degli interessi comuni. Abbiamo collaborato abbastanza a lungo, anche oltre il '70. Nel '63 lasciai il corso di Fisica Superiore che tenevo come incaricato esterno — significava che non avevo alcun rapporto stabile con l'Università; gli assistenti invece, pur non avendo istituzionalmente la responsabilità di un corso, potevano avere un incarico interno; incaricato esterno significava che uno poteva essere rimosso in qualsiasi momento. Se avessi voluto sarei potuto divenire assistente, ma non ci tenevo particolarmente e quando ci fu un concorso, che avrei certamente vinto, non mi presentai, cosa che mi fu perfino rimproverata! Dovetti lasciare Fisica Superiore quando arrivò a Pisa Gherardo Stoppini come professore e il corso fu affidato a lui. Ebbi poi un incarico di Meccanica Quantistica e poi quello di Istituzioni di Fisica Teorica, che avrei tenuto volentieri a lungo, ma dal quale fui scalzato da Franco Bassani, chiamato come professore a Pisa nel '66. Quando Luigi Radicati, disgustato dai moti studenteschi del '68, passò dall'Università alla Scuola Normale, mi fu affidato il corso di Fisica Teorica, da lui tenuto fino ad allora; ne ebbi prima l'incarico e poi dal '73 la cattedra; lo tenni fino a circa l' '80.

Nel frattempo avevo fatto in tempo a cambiare un'altra volta interessi, e mi ero appassionato all'astronomia, in realtà un interesse nato intorno al '68. Ad un certo

momento presi anche l'incarico di Astronomia. A Pisa, per tradizione e da tempi antichi, era stata tenuta da matematici. In un lontano passato era anche stata tenuta da Giuseppe Armellini. In tempi più recenti era stata tenuta da Pier Giorgio Bordoni, un fisico-matematico che avevo conosciuto a Roma come assistente di Antonio Signorini — il padre, Ugo, era quello che si occupava di ultrasuoni. Poi, ancora, da Silvio Ballarin, un professore di Geodesia ad Ingegneria. Io presi il corso ed anche la direzione dell'Istituto di Astronomia. Con questa operazione, non contrastata dai matematici, astronomia divenne un corso del Corso di Laurea in Fisica. I corsi precedentemente tenuti da questi personaggi erano andati scivolando verso un programma noioso: trasformazioni di coordinate, trigonometria sferica e poco altro. Io ristrutturai completamente il corso e cercai anche di mettere in piedi un gruppo di ricerca in astronomia. A posteriori, tuttavia, il gruppo non ha funzionato granché e non ha prodotto risultati significativi; o non siamo stati bravi noi o l'idea non era buona. Devo dire che il gruppo lentamente si è evoluto, esiste tuttora, ma si è dedicato alla astrofisica.

Come era stato organizzato il corso?

Ero partito dall'assunto che non dovesse essere un corso di cultura generale per astronomi, ma un corso specialistico per fisici; volevo presentare i problemi dell'astronomia come parti, storicamente importanti, della evoluzione della fisica. Ho cominciato con il problema dei sistemi di riferimento; D: "Cosa è un riferimento inerziale?" R: "Uno in quiete rispetto alle stelle fisse." D: "Che vuole dire, visto che le stelle fisse non esistono?". In concreto: come viene definito un sistema di riferimento in astronomia? Che lavoro c'è dietro? Quali sono le definizioni operative? Lo stesso approccio per il problema del tempo. Fino a non molto tempo fa la base operativa della misura del tempo era astronomica, a cominciare dalla definizione dell'unità di tempo. La prima idea è stata quella di utilizzare la rotazione terrestre. "Ma sarà un moto uniforme? Che vuol dire uniforme? Che senso ha domandarsi se la rotazione della terra è uniforme se non ho un altro orologio con cui confrontarla?". Quindi c'è questo tipo di problemi da discutere; a me pare siano problemi di base della fisica, non solo di un settore specialistico. C'è da notare che il problema del tempo è stato svincolato dall'astronomia, perché i campioni di tempo sono ora basati sugli orologi atomici. Altra cosa importante nel corso era la meccanica analitica; la meccanica celeste è la seria applicazione della meccanica analitica; la meccanica analitica è nata a questo scopo e si possono anche capire le ragioni delle denominazioni quali: perturbazioni secolari, determinante secolare, etc. Sono le perturbazioni secolari del moto dei pianeti. Incidentalmente, si scopre che Heisenberg non avrebbe inventato la meccanica delle matrici se non avesse conosciuto bene la meccanica celeste. Anche importante era l'ottica, sempre molto trascurata nell'insegnamento ai fisici. Quando uno fa l'astronomo, l'ottica gli serve; deve capire uno strumento come il telescopio. Un telescopio è un capolavoro di tecnologia; è un oggetto estremamente massiccio e pesante e, nello stesso tempo, deve garantire l'esattezza delle superfici riflettenti a frazione di lunghezza d'onda. Come si fa una cosa del genere? Che effetto hanno le deformazioni delle superfici? E la diffrazione? E la presenza dell'atmosfera? Poi è iniziata la storia dei telescopi su satellite. Nella costruzione di un

telescopio ci sono vari problemi, come mettere d'accordo cose che apparentemente fanno a pugni: una grande luminosità ed una buona risoluzione. Insomma tutto questo faceva parte del corso di Astronomia. Ebbe un certo successo all'inizio; fu seguito abbastanza; alcuni studenti hanno poi fatto ricerca in quella direzione. Poi, piano piano, è declinato; si è diffusa la convinzione che l'astronomia fosse una cosa vecchia e che la cosa moderna fosse l'astrofisica.

Ho continuato ad insegnare astronomia; mi sono trasferito su quella cattedra e l'ho mantenuta fino a quando sono andato fuori ruolo. Ho però cambiato il contenuto del corso insegnando essenzialmente relatività generale. Ora il corso di Astronomia non c'è più, ci sono invece due corsi di Astrofisica tenuti da Paolo Paolicchi e Steve Shore. Nel corso di Paolicchi, Umberto Penco tiene una parte delle lezioni su argomenti di astronomia classica e meccanica celeste. Penco è stato a lungo mio collaboratore. Il lumicino dell'astronomia è ancora acceso attraverso miei appunti elaborati con Penco e reperibili in rete. C'è anche da dire che l'astronomia è diventata una cosa di una complicazione spaventosa. La strumentazione è divenuta sempre più precisa, come anche in altri campi della fisica. Più gli strumenti sono precisi, più bisogna tener conto di molti effetti che venivano precedentemente trascurati. Un esempio è la deflessione gravitazionale della luce; si facevano esperimenti ad hoc per studiarla. Ora invece, quando si fa un'osservazione di una stella è necessario tenerne conto, perché la sensibilità della misura è ormai a quel livello. Bisogna quindi anche avere qualche nozione di relatività generale. L'ho fatto notare durante le mie lezioni ed è un fatto tipico della storia della scienza. C'è un fenomeno importantissimo che viene scoperto e vengono fatti esperimenti raffinati e complicati per studiarlo in dettaglio; poi, da un certo punto in poi, diviene qualcosa di assodato e consolidato, non se ne discute neppure più, ma devi tenerne conto... L'insegnamento della astronomia si è ristretto, l'ottica astronomica non la sa più nessuno, le coordinate astronomiche, la trigonometria sferica non servono più; è un'epoca di superspecializzazione; il computer punta il telescopio ed uno chiede e riceve delle osservazioni in un periodo di tempo che gli è stato assegnato. In tutti i campi le cose sono divenute assai complicate e nessuno le padroneggia più tutte completamente; di qui la superspecializzazione: io voglio sapere come funziona quella tal stella e non come funziona il telescopio! A me questo dispiace; è ovvio per tutto quello che ho detto. Il fatto che mi sia occupato di tante cose e che abbia cambiato tante volte mestiere indica una mia tendenza eclettica a voler sapere un po' di tutto; però è sicuro che oltre certi limiti uno non ci va!

Ritorniamo alle simmetrie. Il grande interesse nasce negli anni '60; lei aveva già affrontato questi problemi; un suo articolo del '59 ha avuto origine dal suo famoso lavoro sui K .

Era quando mi stavo interrogando sul significato del momento angolare in meccanica quantistica relativistica. All'epoca non sapevo nulla sulla teoria dei gruppi, non l'avevo mai studiata. Mi ricordo che apparve un lavoro, che lessi con grande meraviglia, in cui si cominciava a parlare delle rappresentazioni del gruppo di Poincaré.

Stiamo parlando della fine degli anni '50.

Sì, sì. Poi uscì una serie di lavori del russo M.I. Schirokov che fece una classificazione delle rappresentazioni del gruppo di Poincaré; apparvero su una rivista russa, ma poi anche in traduzione inglese. Un altro lavoro importante è quello di Theodore Newton e Eugene Wigner del '49, in cui viene introdotta l'idea di "sistema elementare" come rappresentazione irriducibile del gruppo di Poincaré. Poi c'è il famoso lavoro di Gian Carlo Wick, Arthur Wightman, Eugene Wigner. Questi lavori catturarono la mia attenzione.

Quindi dovette iniziare da zero e studiarsi la teoria dei gruppi?

Sì, ma divenne presto anche lavoro didattico. Sto ora facendo una operazione che potrei chiamare "operazione nostalgia" riordinando lezioni che feci nel '65 alla Scuola Normale sulla teoria dei gruppi, sulle rotture spontanee delle simmetrie, etc.⁽²⁾

Sono molto interessata a tutto ciò che lei produce su questi argomenti, quindi la prego di tenermi al corrente.

L'ho chiamata operazione nostalgia, ma forse non è solo questo. Arrivati ad una certa età si comincia a dimenticare le cose ed uno sente il bisogno di riprenderle e di reimpararle. La cosa curiosa è che, leggendo queste lezioni di 40 anni fa, mi dico: "Ma caspita! Come sapevo male queste cose!" Ora conosco più matematica di allora e probabilmente formulerei tutto in maniera diversa. Sulle simmetrie ho svolto lezioni abbastanza di recente, circa 10 anni fa, per la Scuola di Perfezionamento. A Pisa si era sviluppato un po' di interesse per la teoria dei gruppi; se ne era occupato anche Luigi Radicati e poi Luigi Picasso, laureato con lui sulla teoria delle interazioni deboli. In Italia tutto ciò non era molto coltivato; c'era invece un interesse sulla teoria assiomatica dei campi, per esempio da parte di Sergio Doplicher e Giovanni Gallavotti. Io e Picasso abbiamo fatto dei lavori sui gruppi, l'ultimo nel '69. Ad un certo punto iniziò la moda delle simmetrie unitarie; feci un lavoro su SU_6 insieme a Luigi Picasso e Giampaolo Cicogna. Erano cose che poi non hanno avuto alcun seguito, però ci fu la moda di SU_2 , SU_3 , SU_4 , SU_6 , tutti gli $SU...$ In quel periodo ero sempre critico e poco convinto circa la validità degli approcci alla fisica teorica delle particelle, ma ricordo che mi colpì parecchio, in senso positivo, il successo di SU_3 nella scoperta dell' Ω^- ; mi obbligò un po' a ripensare sulle cose.

Fu davvero un successo eclatante!

C'erano già le formule di massa di Gell-Mann ed Okubo, relazioni semplici ma che potevano essere un po' dei trucchetti; invece c'è il decupletto, ci manca qualcosa, e zac! viene fuori; qualcosa di buono ci doveva essere; però era sempre nell'ambito delle simmetrie, non c'era una vera e propria teoria. Successivamente si è aperto per me il periodo dell'astronomia. Ero partito con un progetto ambizioso, che tuttavia non ha portato a

⁽²⁾ Nota del 2010: si possono trovare in <http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/invar>.

niente. Allora l'astronomia era parecchio orientata verso i grandi telescopi e ce n'erano molti sparsi per il mondo; il più grande in Italia era ad Asiago, 1.6 metri di diametro; si era poi parlato di farne uno in Basilicata, chiamato GALILEO, ma non è mai andato avanti. Lavorare ai grandi telescopi ha gli stessi inconvenienti del lavoro alle grandi macchine acceleratrici. Bisogna fare i turni, bisogna presentare proposte a dei comitati giudicanti; uno è fortemente condizionato dal tipo di macchina disponibile, bisogna poi trovare collaborazioni, sponsors, etc. Mi ero proposto di vedere se non si potesse, non dico reagire, ma per lo meno compensare questo indirizzo, cercando di scovare dei lavori di ricerca che avessero un interesse scientifico serio, ma che potessero essere fatti con mezzi molto più modesti; individuai un paio di argomenti e facemmo dei tentativi, ma non ce l'abbiamo fatta a produrre dei risultati veramente significativi. Il gruppo lavorava su un programma di astronomia osservativa; era formato da cinque persone oltre me: Umberto Penco, Bruno Barsella, Carlo Madella, Enrico Iacopini, Franco Angelini. Dopo circa due anni ed in assenza di risultati il gruppo si è dissolto. Io mi sono piuttosto indirizzato verso questioni di astronomia teorica. Mi sono occupato, nel '75, di riduzione automatica di fotografie astronomiche. Verso gli anni '80 ho fatto un lavoro abbastanza curioso quando mi accorsi che gli astronomi erano ancora agganciati alla trigonometria sferica ed a tecniche di calcolo astronomico che risalivano all' '800; non avevano ancora scoperto il calcolo vettoriale, l'uso delle matrici; la rappresentazione di una rotazione mediante una matrice ortogonale 3×3 . Se si prendeva un testo di meccanica celeste molto diffuso, il Brouwer e Clemence, si vedeva che i vettori erano ignorati e si procedeva mediante relazioni fra componenti, come avrebbe fatto Laplace! Inoltre la trigonometria sferica è macchinosa, complicata, scomoda, con alcune difficoltà matematiche legate a posizioni singolari quali gli angoli 0° e 180° . Quindi decisi di trattare il problema delle precessioni, un problema fondamentale della astronomia sferica, mediante l'uso delle coordinate cartesiane. Si possono fare obiezioni — superabili — anche all'uso delle coordinate cartesiane; nelle osservazioni di astronomia la distanza non conta, si lavora sulla sfera celeste, quindi bastano due coordinate angolari, ad esempio: ascensione retta e declinazione; se si usano coordinate cartesiane ce ne vogliono tre: "Ah! Ma allora sono ridondanti!". È vero sono ridondanti! Ma se si lavora convenzionalmente su una sfera di raggio uno, il fatto che le coordinate siano ridondanti ti dà un vantaggio: ti permette delle verifiche. Al termine di calcoli complicati e di approssimazioni, si può controllare che la somma dei quadrati delle coordinate sia rimasta uno. Anche dal punto di vista dell'efficienza di calcolo in un programma, ci sono dei vantaggi a non avere in giro funzioni trigonometriche. Completai la cosa con una iniziativa a "pentola matta", come faccio io... Decisi che tutti i calcoli sarebbero stati fatti semplicemente usando, non un calcolatore, ma un calcolatorino tascabile come il Texas TI58, che non era nemmeno particolarmente potente; permetteva di fare conti con 12 cifre significative. In conclusione si ottenevano risultati completi ed in maniera semplice. Sebbene per me fosse stato una specie di divertimento, il lavoro non è stato inutile. Ricordo che fu citato in una rassegna di articoli sul problema della precessione ed entro breve tempo questa tecnica si è affermata: finalmente la gente ha capito che era meglio usare le coordinate cartesiane e le matrici; se uno prende il libro di meccanica celeste di A.E. Roy, uscito in quegli anni, vede che i vettori e le matrici sono

usati.

Verso gli anni '80 c'è stata da parte mia la riscoperta della relatività generale. Come ho già detto, avevo studiato i testi classici di relatività generale, ma con una insoddisfazione di fondo, l'impressione di non averla capita completamente. Credo di aver letto "Il Significato della Relatività" quando non ero ancora laureato; non era un libro divulgativo, devo averlo studiato e devo aver fatto anche dei conti; mi era rimasta un po' la sensazione che sì, tanti conti, tanto formalismo, ma poi il rapporto con i fenomeni, con le misure, questo spazio, questo tempo come si vedono? come si acchiappano!? Il cambiamento notte/giorno è stato quando è uscito il libro "Gravitation" di Charles Misner, Kip Thorne e John Wheeler, nel '72. Per me quel libro è stato una rivelazione. Sapevo qualcosa di Wheeler e mi era parso un tipo piuttosto strano e credo che non venisse preso molto sul serio in certi ambienti fisici. Si scopre però che Wheeler ha contribuito in vario modo alla fisica; intanto è stato il maestro di Richard Feynman e c'è un lavoro importante che hanno fatto insieme, quello sull'azione a distanza in elettromagnetismo; poi Feynman ha preso un'altra strada. "Gravitation" non l'ha scritto Wheeler da solo, ma c'erano Misner e Thorne, gente più giovane e con i piedi per terra; avevano la padronanza della matematica necessaria e sapevano coniugare bene le intuizioni e le visioni di Wheeler con calcoli concreti ed il confronto con gli esperimenti. Quando ho avuto in mano quel libro, me lo sono studiato — non tutto: sono ben 1400 pagine! — finché ho avuto la sensazione di aver veramente capito la relatività generale. Nel '75 presi la bella decisione di insegnare relatività generale come programma del corso di Fisica Teorica. Mi sono attirato parecchie critiche: "Ecco il solito matto! Il corso di Teorica è un corso istituzionale; tu improvvisamente prendi e ti metti a fare una cosa di cui non importa niente a nessuno". Va detto che 30 anni fa, ai fisici della relatività generale proprio non gliene importava un fico secco. Era considerata esoterica, roba da quattro gatti, non si capiva bene se avesse davvero applicazioni; se ce le aveva, le aveva in una regione di ordini di grandezza ben diversi da quelli di cui si occupavano di solito i fisici. Credo di aver fatto questo tipo di lezioni per due anni; poi ho lasciato il corso di Fisica Teorica. Mi ricordo che spesi tutta una estate a progettare il corso. La sua struttura è sopravvissuta in altri corsi, come quello di Astronomia o di Cosmologia o come Introduzione alla Relatività Generale, che ho continuato ad insegnare fino a quando sono andato in pensione. Ora anche i fisici considerano importante la relatività generale; ci sono le astroparticelle, ci sono le onde gravitazionali. In ben cinque corsi del Corso di Laurea in Fisica si fa almeno qualche accenno alla relatività generale. Va detto che sul modo di intendere la relatività generale esistono due partiti; uno di maggioranza, che vede la relatività generale come una teoria di campo e di cui il rappresentante canonico è Steven Weinberg; uno di minoranza, relativo ad una geometrizzazione della gravità, secondo gli scritti iniziali di Einstein ed ora anche quelli di Wheeler e compagni. Questo è cosa che non riguarda solo noi in Italia, ma tutto il mondo. Comunque la storia della relatività è complicata; ad esempio, quando Einstein ha tentato di produrre una teoria unificata l'ha pensata anche lui come teoria di campo. Devo dire che l'approccio via la teoria di campo non mi convince a pieno; uno continua a mantenere lo spazio-tempo come entità indipendente e poi ci infila dentro il campo gravitazionale e le sue interazioni e ciò,

per come è fatto, simula un cambiamento della struttura geometrica dello spazio-tempo. Invece nell'approccio del primo Einstein e di Wheeler è l'entità primaria che viene modificata, deformata, alterata; è lo spazio-tempo e basta. Tra l'altro questo porta anche a una discussione di tipo filosofico, fra una visione "sostanzialista" oppure "relazionista" riguardo allo spazio-tempo; se lo spazio-tempo c'è come un'entità esistente, oppure se è solo un modo per descrivere le interazione tra i corpi. Chiaramente le teorie di campo si avvicinano al punto di vista relazionista; il punto di vista di Wheeler è sicuramente sostanzialista; lo spazio-tempo è, esiste! Io ho accettato la posizione di Wheeler nel mio approccio, però, come ho detto prima, sono nettamente in minoranza. La cosa curiosa è che, notoriamente, i fisici non hanno in genere una grande sensibilità filosofica; anche in casi come questo, dove ci sono differenze di punti di vista, queste non vengono illustrate agli studenti. Penso che il corso abbia avuto un certo successo; veniva seguito da studenti bravi, inclusi molti normalisti.

In questi ultimi anni non ho fatto molto lavoro di ricerca: qualcosa sulla relatività generale, cercando di "riscoprire" il "calcolo di Regge" attraverso tesi che ho assegnato a degli studenti. Il lavoro originale di Tullio Regge è stato pubblicato nel '61 e credo che sia nato per i contatti che Regge ha avuto con Wheeler a Princeton. Il calcolo di Regge è stato riscoperto in anni recenti come tecnica di calcolo per la risoluzione numerica delle equazioni di Einstein, che sono uno scoglio brutto dal punto di vista numerico per il loro carattere non lineare. Il calcolo di Regge è una discretizzazione che porta a vedere lo spazio-tempo come una specie di traliccio invece del sistema continuo usuale. Utilizzando il traliccio, si possono ottenere delle equazioni discrete, che quindi possono essere risolte. Il problema è come raffinare questa prima approssimazione; cosa molto più complicata che ridurre semplicemente il passo del traliccio. Abbiamo lavorato su queste cose, ma non abbiamo prodotto molto. Forse ero troppo vecchio... In realtà non ero completamente preso da queste cose; avevo anche interessi di altro genere. Questi ragazzi, chi per un motivo, chi per l'altro, non avevano abbastanza grinta da buttarsi da soli ed hanno cambiato campo di ricerca. Questa è stata la mia ultima attività di ricerca; come ho detto, non ha prodotto molto, ma mi ci sono divertito, abbiamo ragionato un po', abbiamo imparato alcune cose, ma non abbiamo risolto alcun problema fondamentale.

Da tutto quello che ha detto, emerge molto chiaramente che l'approfondimento e le riflessioni trovavano un loro sbocco naturale anche a livello di didattica; la ricerca e la didattica sembrano andare di pari passo.

Ho tralasciato di dire una cosa. Se si va a guardare il riassunto di questi 50 anni di lavoro, si potrebbe dire che ho combinato poco... Ci sono persone della mia età che possono esibire 200 lavori; io arrivo a malapena a 50; non sono mai stato molto fecondo come quantità di pubblicazioni. Ma ci sono non poche cose che non sono mai apparse: studi, tentativi, lavori iniziati e non finiti, fogli di carta, manoscritti che non hanno portato a niente a causa di errori o di difficoltà. In alcuni di questi lavori sono state coinvolte anche altre persone. Questa è forse obiettivamente la mia colpa più grave; ci sono state persone e collaboratori che hanno speso del tempo con me e poi non hanno

tirato fuori nulla. Ciò ha fatto loro male ed ha certamente danneggiato meno me di loro. Voglio citare almeno una delle iniziative poi abbandonate; risale grosso modo al periodo fra il '60 ed il '70. Mi ero messo in testa di voler capire perché le equazioni relativistiche delle particelle, tipo Dirac, Schrödinger relativistica e Klein-Gordon, siano locali; con locali intendo: equazioni differenziali alle derivate parziali, che richiedono di fare uso della funzione d'onda in un intorno infinitesimo, senza che ci sia bisogno di conoscere la funzione d'onda a distanze finite. Ritenevo che, per avere una equazione locale, il prezzo da pagare fosse quello di avere anche energie negative, quelle interpretate da Dirac ed ottenute dalla sua equazione. Invece, ad esempio, se si vuole fare la meccanica quantistica di una singola particella relativistica, usando la corretta relazione fra impulso ed energia, ed imponendo che lo spettro degli autovalori dell'energia sia positivo, l'equazione che si ottiene risulta non locale. Con Giovanni Morchio abbiamo cominciato a lavorare su questi problemi ed è emerso che per capire le cose bisognava far intervenire delle strutture algebriche che normalmente non trovano impiego nella fisica teorica. Non terminammo il lavoro. È un esempio di un tipo di ricerca basata su una intuizione, forse anche sbagliata, sulla quale ho fatto lavorare un ragazzo e che non ha portato a nulla. La questione non è mai stata ripresa da nessuno ed io continuo a pensare che non fosse completamente sballata. Ormai non riesco più a affrontare questi problemi; forse, magari tra 50 anni, qualcuno li riscoprirà, capita sempre!

Dunque, andiamo avanti col racconto di quegli anni.

Vorrei parlare di un filone di ricerca, che avevo dimenticato di ricordare e che mi ha impegnato per parecchio tempo, con tre o quattro lavori pubblicati. Rientra in quella che oggi si chiama "fisica computazionale".

Di che anni stiamo parlando?

Sono gli anni '60, la fine degli anni '60. Mi venne l'idea di un metodo, che penso fosse originale non avendolo visto usato da altri, per trovare l'espressione delle autofunzioni e degli autovalori di un sistema quantistico; poteva essere un atomo o un nucleo; era un procedimento iterativo di un tipo diverso dal solito. Certi vantaggi li aveva: una convergenza piuttosto veloce ed una determinazione più accurata delle autofunzioni. I procedimenti più usati, di tipo variazionale, sono buoni per determinare gli autovalori dell'energia, ma non altrettanto buoni per le autofunzioni; quindi sono insoddisfacenti se uno è interessato ad aspetti diversi dall'energia, come ad esempio i fattori di forma. Ho sviluppato il metodo in collaborazione con Giotto Fiorio, con il quale ho fatto anche altri lavori, e con un ragazzo, Dario Cabib, che si era appena laureato in fisica dei solidi con Bassani. Le applicazioni furono a due tipi di sistemi. La prima fu a nuclei semplici come il trizio e l'elio-4; era interessante valutare i fattori di forma, visto che erano allora recenti gli esperimenti di Hofstadter sulla diffusione di elettroni da nuclei. Il lavoro sul trizio è pubblicato; quello sull'elio-4 non fu invece portato a termine. Occorre notare che questi calcoli richiedevano un grosso impegno di calcolatore; quello che avevamo a quel tempo era un IBM 7090; aveva una memoria ridicola rispetto alle dimensioni odierne; il calcolo era massiccio e ricordo che non si poteva tenere il programma e l'insieme dei dati

contemporaneamente in memoria; c'era un gran traffico di montaggio e smontaggio di nastri! Stiamo parlando di 40 anni fa ed era una delle macchine di punta dell'epoca. La seconda applicazione, alla quale era interessato Cabib, era lo studio di eccitoni immersi in un intenso campo magnetico, un problema ancora non risolto. Bassani ed altri se ne erano occupati, ma, a seconda del metodo di approssimazione usato, venivano ottenuti risultati completamente diversi. Noi ottenemmo qualcosa di meglio e lo pubblicammo.

Ma come era venuta fuori l'idea iniziale?

Mah? Come problema di iterazione, concepito in modo piuttosto astratto: spazio di Hilbert, funzioni, convergenza di successioni di operatori. Infatti nei lavori pubblicati la teoria è esposta in termini astratti. Ci sono poi delle applicazioni, con problemi pratici di calcolo numerico. Date le caratteristiche dei calcolatori dell'epoca, si dovevano fare rapidamente dei compromessi: numero di punti calcolati, velocità del calcolo, etc.; uno finiva per dover occupare la macchina per ore. Quella era la macchina di tutta l'Università; era importante riuscire a fare il calcolo in un tempo ragionevolmente breve. I risultati ottenuti, a parte quelli non completati, furono pubblicati su *Nuclear Physics* e su *Solid State Communications*. Insomma, non sono poche le cose di cui mi sono occupato e che sono rimaste un po' per aria.

Magari per altri interessi emersi nel frattempo...

Non lo so! Intendiamoci; a volte questa è una cosa normale; chiunque faccia ricerca può fare dei tentativi che non vanno in porto e la cosa quindi finisce lì.

In genere, quando si fa storia, i vicoli ciechi tendono a essere un po' censurati; non se ne parla. Sarebbero invece interessanti per capire l'evoluzione di un pensiero.

No, non solo! La cosa ha anche un interesse scientifico perché se io sapessi che su un problema che mi è venuto in testa ci si sono già rotta la testa dieci persone e hanno trovato difficoltà e non le dicono perché non le hanno pubblicate... io poi rifaccio gli stessi errori! Purtroppo di solito uno pubblica i risultati, non va a pubblicare un articolo in cui dice: "Ho provato a fare questo, ma non ci sono riuscito!" Ah, ah, ah! Non solo; direi che, più passa il tempo, e più la gente cerca di fare cose ristrette e di scarso interesse, ma che permettano con sicurezza di pubblicare qualcosa!

Mi diceva che, quando venne a Pisa, molto presto ebbe un corso di Fisica Superiore e lo tenne per otto anni. Un grosso impegno quindi; come affrontò questa attività diversa da quella di ricerca?

Il corso di Fisica Superiore era, tutto sommato, non tanto piacevole; era un corso istituzionale, che trattava la fisica che non si faceva da altre parti: elettromagnetismo avanzato, relatività, corpo nero, meccanica analitica; quindi preparazione alla fisica quantistica. Ora le cose sono completamente cambiate e questi argomenti sono finiti in corsi istituzionali ed in molti casi sono stati anticipati. Questo, secondo me, è una cosa un po' assurda. Dopo la riforma "tre+due" si tenta di fare al secondo cose che prima si facevano al terzo o al quarto anno, come se adesso gli studenti fossero maggiormente in

grado di capire; anzi, forse è il contrario; sono aumentati i numeri e gli studenti sono meno selezionati; inoltre la scuola secondaria dà, anche ai migliori, una formazione più debole di quella di prima.

Fisica Superiore, a differenza del corso di Fisica Teorica, che ho fatto dopo e che corrisponde a una materia meglio definita, era composto da una varietà di argomenti. Come ho già detto, un anno dedicai il corso alla termodinamica. Onestamente credo che sia stato un esperimento abbastanza infelice. Comunque, questo era tipico del mio carattere; non ho mai potuto soffrire di tenere un corso per diversi anni e fare sempre la stessa cosa. Ci sono in Istituto persone che tengono lo stesso corso da 30 anni. Il corso di Fisica Superiore aveva però il vantaggio di poter cambiare il modo in cui uno presentava gli stessi argomenti. Quando ho cominciato a farlo, avevo 25 anni e non potevo ancora avere una grande cultura e maturità; una certa impronta personale comunque ce la mettevo. C'è stata certamente una evoluzione. Riguardo, ad esempio, alla teoria della relatività, ciò che non mi piaceva e che trovavo sempre meno utile ed interessante era l'approccio cosiddetto storico — rimasto tradizionale per tantissimo tempo — ripercorrendo la strada fatta da Einstein: critica del concetto di simultaneità, critica del concetto di tempo, postulati di base, principio di relatività, invarianza della velocità della luce e poi i vari effetti, paradossi, etc. L'approccio storico non mi soddisfaceva più; avrei voluto trattare la relatività come qualcosa che discendesse anche da fatti sperimentali e, possibilmente, non immediatamente trasferita in equazioni ed aspetti formali. Questa esigenza veniva fuori da un approccio che chiamerei più fisico. Sembrerebbe adesso che giudico il lavoro di Einstein come “non fisico” ah, ah, ah! Il fatto è che questo naturalmente succede sempre con i “ripetitori”, cioè: Einstein ha scritto quel lavoro nel 1905, poi è stato trascritto nei libri seguendo quella linea, poi ci sono stati i ripetitori... La stessa differenza che c'è fra Aristotele e gli aristotelici. Alla fine si perde il senso rispetto a quello che c'era in partenza. Una volta, ad esempio, ho introdotto la dinamica relativistica basandomi sugli acceleratori e sul comportamento di una particella in campo magnetico. Non farei più neanche questo. Va inoltre tenuto presente che, all'epoca, Fisica Superiore era frequentata dai fisici, ma anche dagli studenti del corso di laurea in Matematica e Fisica, un corso di laurea piuttosto ibrido, in origine concepito per la formazione degli insegnanti liceali, appunto di matematica e fisica. Tenere il corso di Fisica Superiore fu un notevole impegno; era il corso cardine del terzo anno ed uno aveva una responsabilità abbastanza grande, dovendo fare le ossa agli studenti su svariati argomenti. Mi ricordo ancora che alle prime lezioni — racconto questo come aneddoto — sentivo spesso gli studenti ridacchiare. Poi quando sono entrato in maggior confidenza, mi hanno detto che io avevo un forte accento romano e mi prendevano in giro quando, ad esempio, dicevo “probbabbilità” con almeno quattro b!

Gli studenti devono trovare dei momenti di ilarità!

Ma poi non è che sia male, non è nemmeno un segno di scarsa considerazione, anzi a volte succede il contrario, proprio quelli che studiano di più trovano talvolta anche motivi per ridere. A parte la questione dell'accento “romanesco”, il trasferimento da Roma a Pisa mi ha richiesto un certo adattamento; i toscani sono gente difficile da

trattare specie sul terreno della presa in giro, della battuta; talvolta sembrano fare un discorsino innocuo e poi alla fine sparano una battuta che ti gela; io restavo spesso spiazzato! Non ero allenato a queste cose.

Oltre a Fisica Superiore ha tenuto in parallelo altri corsi?

No; c'è da dire che durante i primi tre o quattro anni a Pisa ero impegnato nella progettazione della CEP — Calcolatrice Elettronica Pisana; l'impegno pesante era quello lì, poi svolgevo il corso; mi sembra di aver fatto esami di Fisica 1 e Fisica 2 anche ad Ingegneria.

Quale era il programma di Fisica Teorica?

Come ho già detto, il programma l'ho cambiato spesso. Fra l'altro quando, nel periodo finale, ho cominciato ad occuparmi di astronomia e non più di fisica teorica, ebbi una specie di crisi morale, perché mi sembrava opportuno che Fisica Teorica fosse insegnata da uno che facesse ricerca in quel campo. Nei primi anni, gli argomenti che svolgevo a Fisica Teorica erano quelli standard: meccanica quantistica relativistica e teoria dello scattering. Poi volli fare una cosa diversa, cioè un approccio all'elettrodinamica quantistica senza passare per la teoria dei campi. Avevo scoperto quel libretto "*Quantum Electrodynamics*" pubblicato dalla Benjamin: era una serie di lezioni dove Feynman usava la tecnica dei diagrammi, presa come punto di partenza, discostandosi quindi dallo sviluppo storico. Tradizionalmente l'elettrodinamica quantistica è vista come una teoria di campo quantizzato; si parte dalla lagrangiana, attraverso lo spazio di Fock si arriva agli operatori di creazione e distruzione; allora i diagrammi di Feynman sono visti semplicemente come una rappresentazione grafica del calcolo perturbativo ai diversi ordini. Nell'approccio di Feynman invece, i diagrammi erano la rappresentazione basilare degli eventi fondamentali, tanto è vero che se uno si va a leggere l'articolo che gli ha fruttato il Nobel — *Space-time approach to quantum electrodynamics* —, c'è proprio un discorsino in cui spiega che quando uno ha un grafico relativo ad un elettrone ed un positrone che si annichilano, il positrone può esser visto come un elettrone che viaggia all'indietro nel tempo. Provai a trattare l'elettrodinamica seguendo la linea indicata da Feynman, senza la teoria dei campi. Oggi l'idea dei "path integrals" è uno strumento fondamentale della fisica teorica, ma perché venisse capita c'è voluto parecchio tempo. Funziona! Si riesce a far tutto ed a calcolare tutte le cose di interesse. Mi ricordo come gli studenti fossero abbastanza scombussolati, perché non ritrovavano le cose che forse stavano studiando da altre parti!

Questi metodi alla Feynman sono stati introdotti rapidamente nella didattica universitaria?

Non direi, anzi credo che sia cosa relativamente recente, 20 anni forse. Le idee di Feynman sono state prese seriamente solo dopo che Dyson ha pubblicato un lavoro dimostrante l'equivalenza fra l'approccio di Feynman e quello di teoria dei campi. È strano, ma c'è una specie di parallelismo con la storia dello sviluppo della meccanica quantistica: gli approcci alla Schrödinger e alla Heisenberg; sono partiti come due cose

completamente separate, poi Schrödinger, mi sembra, ne ha dimostrato l'equivalenza. Dirac ha poi rielaborato il tutto.

Ci sono altre questioni riguardanti la didattica?

Quando si parla di didattica io intendo anche una cosa diversa, cioè tutto il lavoro che ho svolto in ambito extra universitario. La cosa decisiva è stata quando sono stato coinvolto nel PSSC — “*Physical Science Study Committee*”. Non è stata neppure una scelta mia, ma è chiaro che il mio interesse per il lavoro didattico universitario preparava il terreno. La cosa deve essere emersa quando ero ancora a Roma e mi sono trovato a rispiegare la teoria della relatività che Ferretti aveva svolto troppo velocemente. Il corso era anche per studenti del corso di laurea in Matematica e Fisica; c'erano ragazzi ai quali era veramente difficile far capire le cose; inoltre, all'epoca, se uno veniva bocciato poteva ripetere l'esame anche quattro o cinque volte, quindi alcune persone erano ben conosciute da me e da Ferretti. Quando si ripresentavano si sperava sempre che dicessero qualcosa che permettesse di dargli finalmente un 18. Il mio primo successo didattico è stato quando sono riuscito a far capire a questi ragazzi qualcosa di relatività, riuscendo a far loro raggiungere il famoso 18. Quando mi sono trasferito a Pisa nel '55, Ferretti, quasi contemporaneamente, si trasferì a Bologna. È stata una sua iniziativa, insieme alla moglie, quella di far partire un programma PSSC in Italia. Erano in contatto con Uri Haber-Schaim e Francis Friedman negli Stati Uniti ed avevano anche contatti con il Ministero della Pubblica Istruzione. Furono loro ad avere l'idea di coinvolgermi; accettai la proposta e la cosa sfociò nel fatto che sono stato il direttore del primo corso pilota PSSC in Italia. La scuola estiva per la formazione degli insegnanti fu tenuta a Spoleto nel '62; ero il Direttore ed avevo 32 anni. Parteciparono una ventina di insegnanti, quasi tutti molto più vecchi di me, sui 40, 50 anni. Erano persone sperimentate e conosciute, nel senso che la scelta degli insegnanti fu fatta da un ispettore del ministero. A quel tempo gli ispettori ministeriali giravano l'Italia, visitavano le scuole e sapevano quali erano le persone più preparate e più competenti. Mi sono trovato a fare questo lavoro quando ero molto giovane. Il che naturalmente aveva qualche controindicazione; a me è spesso successo, devo dire, di trovarmi a fare le cose quando ero più giovane del giusto; adesso lo capisco, allora no, non lo capivo. È bello essere giovane, ma ha degli inconvenienti perché non capisci tante cose, non ti rapporti sempre in modo corretto con le persone, specialmente con le persone più anziane. Infatti ho avuto qualche scontro con l'ispettore ministeriale; era un matematico che aveva un passato di attività di ricerca nel campo delle probabilità, poi si era messo a fare l'ispettore; era una persona abbastanza anziana. Lui di fisica non capiva un accidente e sosteneva che non lo rispettavo: “Io sono anziano, sono un ispettore ministeriale, una figura ufficiale; questo ragazzo qua, come si permette!”; tanto per fare un esempio.

L'esperienza di questo primo corso fu positiva?

Mi capita ancora adesso di parlarne; credo sia stata la cosa migliore che sia stata fatta nella scuola italiana in questi ultimi 50 anni. È un peccato che sia tutto finito. Le cose possono sempre evolvere nel tempo, ma questo significa cogliere gli aspetti positivi

e correggere quelli negativi; invece è tutto finito; ha lasciato qualche traccia, ma molto meno di quanto sarebbe stato possibile. Come esperienza di lavoro, io ho imparato veramente molto. Non si è trattato solo di fare un corso di un mese a Spoleto; tutti insieme a lavorare mattina e pomeriggio. Questi insegnanti li ho poi seguiti nell'anno scolastico successivo. Facevamo riunioni periodiche, ci trovavamo insieme a discutere su come andava il lavoro, le difficoltà che incontravano, i risultati; c'erano le prove intermedie, i test che si davano e che poi si esaminavano. Io andavo a visitare le classi; ho girato un bel po' per l'Italia. Ho stabilito dei rapporti con gli insegnanti che sono durati nel tempo, anche rapporti personali e di amicizia. Purtroppo la maggior parte era più anziana di me ed alcuni di loro sono ormai scomparsi. L'esperienza del PSSC è continuata per alcuni anni; il grosso dell'impegno, questo è giusto dirlo, era centrato su Bologna. Ho nominato Ferretti, il cui contributo principale fu il film sul secondo principio della termodinamica, ma più fortemente impegnata era la moglie Maria che insegnava al liceo Fermi di Bologna. Tutto l'Istituto di Bologna era impegnato perché questa fu una scelta strategica del direttore Giampiero Puppi. Ricordo i colleghi Protogene Veronesi e Nella Grimellini-Tomasini.

In tutto ciò ha avuto un qualche ruolo anche Bruno Rossi che veniva spesso in Italia dagli Stati Uniti e che, a quell'epoca, ha contribuito a pubblicizzare il PSSC.

Non saprei; Rossi non l'ho mai conosciuto. Mi ricordo solo che, laureato da poco, scopersi con grande piacere il suo libro di ottica; lo trovai un libro bellissimo e da quello ho capito un sacco di cose non capite in precedenza. È possibilissimo che lui si sia dato da fare per introdurre il PSSC in Italia, dove, fra l'altro, incontrò non poche resistenze.

Intanto c'era la burocrazia ministeriale con la sua routine e questa cosa tutta nuova, tutta diversa, in cui bisognava cambiare gli orari, bisognava introdurre degli esperimenti ad hoc, c'era il film, ci voleva il tecnico, etc. tutte cose che sconvolgevano! Anche solo far capire cosa si faceva e perché, non era facile. La ragione formale per cui il PSSC è venuto in Italia è che l'Italia era vincolata a un organismo internazionale che si chiamava OCSE — Organization for Economic Cooperation and Development — fondato nel dopoguerra per promuovere lo sviluppo economico, del quale facevano parte gli Stati Uniti e vari paesi europei. Fu questo organismo che si impegnò per diffondere il PSSC in Europa. L'Italia si trovò un po' forzata a partecipare; però, a livello ministeriale, non c'era entusiasmo. Poi c'erano resistenze anche nell'ambiente universitario. Edoardo Amaldi a Roma e Piero Caldirola a Milano furono molto critici. Tra l'altro, sia Amaldi che Caldirola erano anche autori di libri di testo per le scuole secondarie con impostazioni molto diverse; entravano quindi in conflitto col PSSC. A me il PSSC era piaciuto per l'approccio innovativo; mi sono trovato a scrivere articoli in risposta a varie obiezioni.

E il grosso della critica da che cosa veniva?

Quello che forse dava più fastidio era il carattere apparentemente più spicciolo della trattazione, niente matematica o quasi. In quanto poco formalizzato sembrava più superficiale. In realtà la profondità dei contenuti del PSSC era ben superiore a quella di qualsiasi libro di testo italiano dell'epoca. La critica di Amaldi era essenzialmente che il

PSSC distruggeva la tradizione italiana e la scuola di fisica italiana. Naturalmente c'è del vero. Ma l'Italia, nella formazione dei fisici, era molto legata alla tradizione tedesca. Molti dei testi di base, come il Becker, il Sommerfeld o l'*Handbuch der Physik* — summa della sapienza fisica — erano tedeschi ed erano in parte tradotti. La tradizione della scuola europea, e particolarmente di quella tedesca, si contrapponeva alla scuola americana che era più nuova, con un approccio più empirico, meno formalizzato. A livello di didattica secondaria, gli americani avevano fatto la scelta deliberata di fare a meno della matematica o più esattamente dell'algebra. Facevano invece largo uso dei grafici, curve, grafici spazio-tempo, grafici velocità-tempo, gli urti studiati facendo vedere i grafici che si incrociano etc.; non c'erano calcoli ed equazioni, a parte coseno da poco. Invece di una equazione con simboli algebrici, uno scriveva ad esempio: "Velocità moltiplicato tempo eguale spazio". Evidentemente avevano fatto questa scelta perché conoscevano i loro polli; sapevano che i loro ragazzi avevano difficoltà, non avendo una sufficiente capacità di astrazione. L'ironia della storia è che ci hanno anticipato, nel senso che questo succede adesso anche qua.

Quindi l'opposizione di Amaldi era essenzialmente legata all'aspetto della tradizione culturale?

Sì, ma ricordo anche questioni di dettaglio che toccano l'epistemologia; faceva delle critiche al modo nel quale veniva trattata la dinamica; diceva: "Con questo esperimento si vuole arrivare alla seconda legge della dinamica, ma è sbagliato perché, se si analizza, dentro c'è pure la terza legge". Si capisce facilmente la critica di Caldirola, il cui testo era agli antipodi: un approccio deliberatamente assiomatico della fisica. È curioso invece che Amaldi, fisico sperimentale, non cogliesse il valore di un approccio induttivo. È sbagliato credere che il corso PSSC pretenda di ricavare $F = ma$ dagli esperimenti sui carrelli; da esperimenti come quelli si ricavano delle indicazioni, che suggeriscono una legge; poi si deve rafforzarla con altri esperimenti sempre più raffinati, verifiche, etc. Ma questo è sempre stato vero; tutta la fisica che conosciamo non sta in un esperimento o in un altro, ma sta nel quadro complessivo, nel modo nel quale la teoria lega le cose fra di loro, in tutte le convalide che si ricavano dal complesso degli esperimenti. Proprio in risposta a questo tipo di critiche tenni, nel 1968 a Milano, una conferenza intitolata "Induzione e deduzione nell'insegnamento della meccanica" poi rielaborata e pubblicata come articolo di "La Fisica nella Scuola" nel 1977 e, più di recente, nel volume "Guida al Laboratorio di Fisica" (Zanichelli, 1995). Debbo dire che le critiche mi sono sempre sembrate poco approfondite. Bisogna ricordare che il PSSC è stata un'impresa di grande mole, per la quantità e la qualità dei collaboratori (inclusi alcuni premi Nobel). Certamente c'era una scelta, una filosofia diciamo, che si poteva più o meno condividere, ma non era certo improvvisata. Inoltre il progetto andava valutato nel suo insieme: il testo, i problemi, il materiale di laboratorio, le guide per gli insegnanti, i films. Va anche detto che il PSSC, anche in USA, ha avuto numerose edizioni ed esiste tuttora; ma è stato ampiamente riveduto nell'ordine degli argomenti e forse nella visione d'insieme.

Chi l'ha pubblicato in Italia? Zanichelli?

Non a caso a Bologna, proprio dalla Zanichelli, sotto lo stimolo di Puppi. Alla Zanichelli c'era, come proprietario e direttore, Giovanni Enriques, il figlio del matematico Federico, che mise tutta la casa editrice ad appoggiare il progetto e si occupò di tutti i lavori di traduzione. Io sono stato impegnato anche nel lavoro di traduzione che è stato una opera collettiva; ho fatto la revisione della terza parte e la traduzione dei film — scegliendone solo una parte fra tutti quelli disponibili — insieme ad altri due colleghi. Questi film circolano ancora e recentemente la Zanichelli ne ha fatto una versione DVD.

Quindi, secondo lei, è stata una operazione valida come proposta didattica?

Ha degli aspetti che andrebbero rivisti, essendo passati 40 anni. La fisica è cambiata; per dirne una: i laser non esistevano, tanto meno come strumento didattico; non è una cosa da poco. Poi c'è che il PSSC era forse un po' troppo orientato verso la fisica delle alte energie. Ma è grazie al PSSC che le leggi di conservazione della quantità di moto, dell'energia, del momento angolare, hanno preso piede nell'insegnamento secondario. E poi i sistemi di riferimento. Dare come idea base il fatto che esistano diversi sistemi di riferimento e di cosa succeda se uno cambia sistema di riferimento. Chiaramente è una preparazione alla relatività, anche se questa non c'era in quel corso; c'era nella parte avanzata, nelle così dette "Advanced topics". Un altro lascito del PSSC è la tecnica didattica delle foto stroboscopiche. Alcune di queste foto si trovano ora su tutti i libri: quella della chiave inglese che trasla e ruota, quella del grave che cade verticalmente o lungo una parabola, anche se nessuno forse ricorda più da dove vengano. Un'altra innovazione interessante fu la seguente; come ho già detto il PSSC era abbastanza orientato verso la fisica delle particelle; la scelta che fecero, nella parte relativa all'elettromagnetismo, fu di usare fin dall'inizio l'idea della carica elementare; per cui non c'era una unità arbitraria di carica come il Coulomb. Gran parte del discorso si basava sull'osservazione che esiste una carica elementare, quella dell'elettrone, e sulla sua misura da parte di Millikan. Si restava poi a livello microscopico, con molto spazio dato al comportamento degli elettroni in campi elettrici e magnetici; invece la solita elettrostatica era molto ridotta di peso ed era sostanzialmente centrata attorno ai due bei film di Eric M. Rogers "La Legge di Coulomb" e "La Costante della Legge di Coulomb". Rogers era un personaggio divertentissimo; non solo era un bravo insegnante, ma era anche divertente come attore; quei film sono ancora usati e sono piacevoli da vedere. I film del PSSC, specialmente quelli di Rogers ed il famoso "Sistemi di riferimento" hanno avuto grande successo; oltre ad avere un contenuto serio, sono spettacolari, lasciano sensazioni.

Vorrei anche parlare, con una certa tristezza di fondo, della straordinaria capacità che hanno gli americani quando si dedicano ad un progetto. Il PSSC è stata una impresa di enormi dimensioni per il numero di persone coinvolte e la qualità dei contributi. Ci hanno lavorato per qualche anno centinaia di persone; avevano deciso che dovevano fare qualcosa e ci hanno messo tutte le energie e, d'amore e d'accordo, hanno prodotto questo lavoro quantitativamente rilevante ed una tappa importante nella didattica della fisica. La tristezza consiste nel saper bene che in Italia non saremmo mai stati capaci e non siamo tuttora capaci di fare niente del genere. Lasciamo perdere le

analisi di quali siano le ragioni; possiamo criticare gli americani su vari aspetti, ma sul PSSC bisogna levarsi tanto di cappello; quando decidono di fare una cosa, si mettono insieme, collaborano e sono capaci di mettere da parte le gelosie, le invidie, i protagonismi!

In conclusione: ho lavorato al PSSC il primo anno; nel terzo fui invitato da Arturo Loria a svolgere le lezioni sulla dinamica — la terza delle quattro settimane del corso — poi fui di nuovo direttore del quarto corso nel '65. Non furono fatti altri corsi ed il PSSC è andato ad esaurimento. Per prima cosa sono state tolte le due ore addizionali che erano state assegnate all'inizio. Con una tale riduzione c'è poco da fare, o fai tagli pesanti al programma o rinunci a gran parte del lavoro di laboratorio; in entrambi i casi il progetto risulta compromesso. Poi gli insegnanti che avevano le classi pilota le hanno mantenute, ma pian piano qualcuno è andato in pensione, altri sono divenuti presidi o ispettori o sono stati trasferiti; così il progetto si è estinto senza che ne venisse mai dichiarata ufficialmente la chiusura. Soprattutto, senza che, a livello ministeriale, sia mai stato pronunciato un giudizio, sia stata fatta una sintesi, sia stato pubblicato un documento di valutazione. Lo stesso è successo alle altre numerose sperimentazioni che si sono avute dopo il PSSC, anche se nessuna della stessa ampiezza: tanta gente ci ha lavorato, ma cosa abbiano fatto e se abbiano avuto successo non si sa! Il merito storico del PSSC è stato quello di introdurre in Italia l'idea che si potesse fare sperimentazione nell'insegnamento, che si potessero introdurre idee completamente diverse, che la fisica potesse essere insegnata in modo non codificato e ossificato. Almeno questo!

Era anche un elemento di rottura che spezzava le vecchie tradizioni.

Però le fasi successive delle sperimentazioni sono state fatte in maniera un po' selvaggia, senza fare granché tesoro dell'esperienza del PSSC. Un'altra cosa che il PSSC ha prodotto, e questo poi mi ha impegnato parecchio, è stata la nascita e l'avvio dell'AIF — Associazione per l'Insegnamento della Fisica. L'associazione è stata, all'inizio, costituita praticamente da insegnanti-pilota del PSSC che hanno anche fondato una rivista.

Ritorniamo all'AIF. Mi diceva che è nata da un gruppo di persone che avevano partecipato al PSSC.

In realtà l'AIF esisteva già; era stata fondata a Torino nel '61 da un gruppo di insegnanti e dal Preside di un Istituto Tecnico. Successe che il gruppo degli insegnanti-pilota provenienti dal PSSC prese il controllo dell'AIF; infatti, per i primi anni, i presidenti dell'AIF furono tutti insegnanti provenienti dal PSSC; il primo è stato Alberto Foà — il padre di Lorenzo Foà, che è ora professore alla Scuola Normale — uno degli insegnanti più anziani. Il secondo presidente della AIF è stato Savino Melone, seguito poi da Ettore Orlandini. Poi, piano piano, le cose sono cambiate perché quella generazione è andata in pensione. L'AIF aveva una rivista che si chiamava “*Bollettino dell'AIF*”, una cosettina abbastanza alla buona; poi è diventata una rivista rispettabile — “*La Fisica nella Scuola*” — ed era ed è, di fatto, l'unica rivista didattica della fisica che esista in Italia. C'era anche il “*Giornale di Fisica*” della SIF — Società Italiana di Fisica — che però allora non poteva essere considerata una rivista didattica. Adesso forse le cose

potrebbero essere cambiate essendo cambiata la direzione. In passato di fatto la SIF non era particolarmente orientata verso i problemi relativi alla didattica, come invece accadeva per l'Unione Matematica Italiana, che ha da sempre mostrato molta attenzione e considerazione per i matematici che si dedicano a questa attività. *“La Fisica nella Scuola”* non sta certamente al livello di alcune riviste di didattica della fisica che ci sono in giro per il mondo, soprattutto americane ed inglesi; hanno un'altra tradizione; la rivista dell'AIF è però dignitosa.

Quali sono le riviste che lei considera particolarmente valide fra quelle internazionali?

L'*“American Journal of Physics”* anche se, forse, è una rivista didattica per modo di dire, essendo un po' più a carattere universitario. Poi *“Physics Teacher”*, *“The Journal of Physics Education”*, il *“Bulletin de l'Union des Physiciens”*; ce ne sono di tedesche, che però ho più difficoltà a leggere. Incidentalmente, non è che sia di grande importanza, ma il nome della rivista *“La Fisica nella Scuola”* l'ho dato io. Ho fatto parte del Consiglio Direttivo dell'AIF per varie volte; poi ne sono uscito perché ritengo che una associazione di quel genere è meglio sia governata da gente non universitaria, preferibilmente da insegnanti secondari. Qui ci sarebbe un altro discorso da fare: quello dei rapporti tra insegnanti secondari e universitari, che non sono mai stati buoni. Io mi sono sempre considerato una quasi eccezione; credo di essere un universitario che capisce e conosce i problemi della scuola secondaria molto di più di molti colleghi universitari. Tuttavia sono un professore e questo può pesare; alla fine sei sempre quello che fa le lezioni, che spiega le cose agli altri; anche se uno non lo vuole far pesare, finisce sempre per venire fuori il: “Ma io ne so di più”.

Sono però convinto che si debba riconoscere all'insegnante secondario una sua specificità. Io stesso l'ho detto più volte; non penso che sarei stato bravo a fare l'insegnante secondario, mi mancano certe capacità, certe attitudini, certe qualità. Magari, se l'avessi cominciato a fare quando ero giovane, forse le avrei acquisite. Naturalmente per quello che riguarda la padronanza e la conoscenza della fisica è un altro discorso. Ma l'atteggiamento che è diffuso, non solo a Pisa, ma in tutta Italia, è condensabile in: “Io sono un professore universitario, quindi ne so di più, quindi se solo avessi voglia di fare quel mestiere lì, lo farei meglio di tutti quelli che lo fanno, etc.”. E l'insegnante secondario queste cose le sente, anche attraverso i rapporti che si trova ad avere coi professori universitari come genitori; si crea così un muro di diffidenza che è difficile rimuovere.

Ho fatto numerosi corsi di aggiornamento e lavorato a scuole estive di vario tipo. C'è sempre da domandarsi quale effetto abbiano, quanto pesino, quanto significhino. Alle scuole, ad esempio a quella dell'Aquila, dove ho insegnato per tre anni, vengono per una settimana di attività intensa una quarantina di insegnanti; non si tratta del solito corso di aggiornamento, dove il professore universitario arriva, fa la sua lezione e poi scappa via; lì si lavora tutto il giorno, si mangia insieme, si chiacchera durante il tempo libero; inoltre, dopo la scuola, si continua ad interagire. Io ormai conosco tanti insegnanti; si possono sicuramente contare a parecchie centinaia le persone con cui ho avuto contatti; tuttavia gli insegnanti di fisica sono sicuramente delle migliaia; hanno partecipato alle scuole solo quelli più motivati, più interessati, più attivi. Non si ha

modo di interagire con tutti gli altri. Il problema della formazione e della riqualificazione degli insegnanti esce sempre fuori. In realtà nessuno sa veramente come affrontarlo. Qualche anno fa, all'epoca del piano nazionale per l'informatica, si volevano fare dei corsi per formare dei "formatori"; poi questi, nelle loro provincie, avrebbero dovuto formare altre persone e così via. Ma le cose non funzionano così; nella trasmissione le cose si perdono! L'idea è spuntata fuori di nuovo in tempi recenti col nome di ISS — Insegnare Scienze Sperimentali — ; ancora un progetto basato su formatori, presidi, etc. Io non ho mai partecipato a queste iniziative, perché non ci credo. Naturalmente il problema non è solo italiano. Da noi si fanno discorsi del tipo: "Dobbiamo metterci alla pari con l'Europa..." come se ci fossero dei modelli di riferimento. Comunque nessuno fa lo sforzo di andare a vedere sul serio! Come funzionino le scuole in altri paesi, cosa insegnino, quante ore abbiano, che lavoro facciano gli insegnanti, insomma tutti questi aspetti, in concreto, non li conosce praticamente nessuno. Ricordo che ci fu un lavoro fatto in una delle innumerevoli strutture che si inventano, il COASSI — Comitato delle Associazioni Scientifiche Italiane; furono pubblicati dei quaderni sull'insegnamento delle scienze in Francia, Germania ed Inghilterra, con informazioni dettagliate sugli orari, sulla distribuzione delle materie, sulle procedure per la formazione degli insegnanti, sui programmi. Tutto ciò fu fatto circa 20 anni fa, poi più niente! E le cose sono certamente cambiate da allora!

Lei ha sempre molto riflettuto su questa materia ed ha pubblicato articoli e lavori.

Riprendo il discorso sul rapporto fra la didattica e l'attività di ricerca. Ho sempre tenuto un atteggiamento un po' diverso da quello più corrente nell'ambiente. Esistono un po' di persone, sparse per l'Italia, che pur stando nell'ambito universitario, si sono dedicate a tempo pieno a quella che si chiama ricerca didattica; ad esempio, quando esisteva l'indirizzo didattico, prendevano quei corsi di insegnamento, scrivevano lavori sull'argomento, seguivano tesi sul tema. Io ho sempre cercato di tenere il piede in due staffe, facendo anche ricerca nel campo della fisica teorica, della teoria dei campi ed infine in astronomia. In parallelo ho lavorato con gli insegnanti secondari ed ho svolto corsi di aggiornamento. Il mio stesso carattere mi ha portato ad occuparmi di tante cose. Ritengo inoltre che occuparsi solo di ricerca didattica possa essere pericoloso, si rischia di restare indietro, di perdere il contatto con l'avanzamento della fisica, uno può rinchiudersi ed isterilirsi. In parte per questo — ma non solo; il discorso sarebbe lungo — nell'ambiente universitario, chi si occupa esclusivamente di ricerca didattica tende ad essere considerato un fisico di serie B; il retropensiero è: "Si occupa di quello perché non è capace di fare niente di meglio". Io ci ho sempre tenuto a non essere incasellato in questo modo. Il rovescio della medaglia è che occuparsi insieme di due cose, anche eterogenee, riduce la produttività, in un campo o nell'altro. Alla ricerca didattica o comunque all'impegno verso la didattica non universitaria mi ci sono dedicato progressivamente, in modo crescente nel tempo. Anche impegni limitati nel tempo, come lezioni o corsi, richiedono a monte un lungo periodo di preparazione, mesi ed anni. Un esempio tipico è questo "*Quaderno di Relatività*" che le mostro. Questo progetto ha un approccio non tradizionale, segue la linea di Wheeler ed unifica relatività ristretta e generale. Per parecchio tempo

ho avuto difficoltà a farlo accettare; ora sembra che il vento sia cambiato. Il materiale è stato preparato per una scuola estiva nel 2000, ma dietro c'era lavoro accumulato in un periodo di circa venti anni sulla didattica della relatività. un'altra attività didattica di un certo respiro, che mi ha impegnato attorno a trenta anni fa, è stato il "*Progetto Cascina*" — dal nome della cittadina toscana. Durante il periodo delle sperimentazioni fu creata a Cascina una scuola sperimentale superiore, molto libera nel definire il suo programma di corsi e materie. Io mi occupai della parte riguardante la fisica. Vittorio Checcucci, pisano, da tempo scomparso, si occupava della matematica. Per la fisica sviluppai un'attiva collaborazione con Riccardo Bagnolesi, anche lui prematuramente scomparso, che insegnava appunto fisica nella scuola di Cascina. Aveva allora 30 anni; insieme facemmo un progetto completamente originale di insegnamento della fisica nel biennio. Due temi portanti furono l'astronomia e l'ottica. Alcune idee di quel progetto sono rientrate in un'altra delle scuole estive dedicata all'ottica ed intitolata "*Ottica nel Mondo Reale*". Questo è stato un caso di una ricerca didattica che mi ha dato soddisfazione. La collaborazione con Bagnolesi è stata molto vicina a quello che considero l'ideale: io costruivo la linea generale del progetto e scrivevo il testo da proporre ai ragazzi; lui lo discuteva, chiedeva modifiche per renderlo più accessibile; molte volte ideò esperimenti adatti allo scopo ed all'età dei ragazzi. Insieme ridiscutevamo, realizzando la giusta fusione tra le idee portanti e la traduzione in materiale utilizzabile. So che può sembrare banale che questo debba essere lo stile di lavoro, ma la mia lunga esperienza mi dice che invece accade molto raramente. Da un lato il ricercatore universitario tende, come ho già detto, a ritenersi superiore; dall'altro l'insegnante è poco abituato a mettersi in discussione, ad accettare idee esterne e verifiche del suo lavoro. Il progetto era indirizzato al primo anno di scuola superiore, cioè su ragazzini che uscivano dalla scuola media. Tra gli scopi del progetto c'era il far vedere in che modo la matematica funzioni come strumento concettuale per la fisica; dare una prima idea, nel caso dell'ottica geometrica, di cosa sia una teoria fisica e quale sia il suo rapporto con gli esperimenti. Sul Progetto Cascina non è stato pubblicato niente; però in anni più recenti è stato ripreso con successo al liceo Vallisneri di Lucca. In direzione delle classi superiori, a parte il lavoro di relatività cui ho accennato, mi sono occupato di un'introduzione alla fisica quantistica, ma con risultati meno soddisfacenti. A livello dei ragazzi, la relatività attira di più, forse perché si parla di cose che sembrano più vicine al senso comune, come velocità, propagazione della luce, gravità, tempo; oppure grandiose ed affascinanti: universo, galassie, espansione. Di conseguenza anche gli insegnanti sono più ricettivi perché sono interessati a rispondere agli interessi dei ragazzi. Invece i fenomeni quantistici riguardano un mondo molto lontano dall'esperienza, quindi bisogna avere già una capacità di vedere e pensare a cose che non si toccano. D'altra parte la fisica quantistica sta alla base del mondo d'oggi. È fin troppo facile dire: "Ragazzi, dovete pensare che moltissimi oggetti di uso comune, dai laser ai computer e ai telefonini, senza la fisica quantistica non funzionerebbero; i telefonini non esisterebbero! Se volete avere una minima idea di cosa c'è — non dico di come siano fatti dentro — ma quali siano le basi sulla quali si è andata costruendo questa tecnologia, per la fisica quantistica dovete passare".

Dal punto di vista didattico c'è una differenza: la relatività è più autosufficiente; è

più facile fare un discorso sulla relatività perché ha meno prerequisiti. Se uno esamina i primi quattro o cinque capitoli del mio libretto, sembra che si stia parlando di meccanica classica, tanto che chi legge potrebbe chiedersi: “Ma la relatività quando comincia?”. In realtà si è già cominciato a parlare di relatività quando si è parlato di sistemi di riferimento, del principio di relatività galileiana, della misura del tempo e di che cosa sia un buon orologio. Nei soliti libri di testo, la relatività viene trattata a parte, magari come ultimo capitolo. Secondo me invece la relatività va preparata fin dai primi capitoli della meccanica, sia spendendo tempo sui sistemi di riferimento, sia discutendo la misura del tempo e gli orologi. Questi sono argomenti del tutto trascurati nell’insegnamento secondario. Ma come si fa a parlare di orologi in campo gravitazionale, oppure del moto relativo, se non si è spiegato come facciamo a decidere se un orologio funziona bene o male o perché alcuni orologi siano più affidabili di altri? E inoltre: come sono fatti gli orologi di precisione? Cos’è un orologio atomico? Riassumendo: la relatività è più autosufficiente, ma richiede, a monte, una lunga preparazione. Invece la fisica quantistica è molto più intrecciata con l’ottica, con la chimica, con la meccanica statistica. Purtroppo l’insegnamento tradizionale della fisica quantistica si concentra su aspetti quali il dualismo onda/corpuscolo o il principio di indeterminazione. Ci si concentra su aspetti più filosofici che propriamente fisici, lasciando poco spazio agli esperimenti ed a tutti gli aspetti che chiamerei “positivi”. Questa è una polemica che io faccio continuamente: “Presentate la Fisica quantistica come se fosse un mondo dove non si sa di che cosa si parli — non si può sapere questo, non si può misurare quello, non si sa se è un’onda o una particella... — Ma insomma! Noi fisici che lavoriamo dentro la fisica quantistica ormai da quasi un secolo, di che cosa ci occupiamo secondo voi? Di fantasticherie? Di cose che non si sa che cosa siano? Di esperimenti che sono indeterminati, quindi non si può mai sapere? Ma allora!”.

Viene fuori una’immagine del tutto fuorviante!

Io sono solito fare un’obiezione ovvia: abbiamo tantissimi oggetti e strumenti costruiti in base alla fisica quantistica, che funzionano esattamente come previsto da chi li ha progettati. Come si potrebbe spiegare questo se davvero il mondo fosse indeterministico nel senso banale in cui se ne parla in tanta divulgazione e, purtroppo anche, in tanti testi scolastici? Se non si può essere sicuri di niente, come mai poi le cose funzionano? Sarebbe auspicabile che chi si mette a parlare di queste cose riflettesse un po’ più seriamente sull’argomento! Proprio per questi motivi, nel mio lavoro sulla didattica della fisica quantistica ho deciso di capovolgere completamente il discorso, partendo dai fatti. So bene che già su questa paroletta “fatti” si possono fare lunghi discorsi epistemologici, che i fatti sono “carichi di teoria”, etc. etc. Ma qui siamo ad un livello molto più elementare. Il punto è che, prima di mettersi a parlare degli aspetti sofisticati della Meccanica Quantistica, bisogna avere delle nozioni fattuali di base, per restare coi piedi per terra. Quanto sono grandi gli atomi? Quanti ce ne sono in un litro d’aria? E poi consideriamo un fatto di esperienza comune: l’aria è trasparente alla luce, come mai? Lo si può spiegare considerando i livelli energetici degli atomi in confronto con l’energia dei fotoni nel visibile. Non occorre aver dietro una teoria completa, questa verrà in

seguito. Ma se accettiamo la quantizzazione dei livelli e la regola di Bohr, che lega la variazione di energia nella transizione alla frequenza della luce emessa o assorbita, ecco che si spiegano numerosi fatti, di cui la trasparenza dell'aria è solo un esempio. Se poi prendiamo la stessa aria e la mettiamo in un tubo a scarica, ecco che emette luce; come mai? Ragionando su queste cose, ci si familiarizza con gli ordini di grandezza: lunghezza d'onda della luce visibile ed energia dei fotoni; si prende confidenza con l'eV come unità di misura dell'energia.

Un altro grande tema, troppo trascurato nell'approccio alla fisica quantistica nella scuola secondaria, sono gli aspetti statistici. Riprendiamo la trasparenza dell'aria: gli atomi di azoto e ossigeno hanno livelli eccitati le cui differenza di energia stanno nel visibile; dato che l'agitazione termica porta ogni tanto qualche atomo in un livello eccitato, ecco che questo potrà assorbire nel visibile. Ma il problema è quantitativo: quanti sono gli atomi eccitati a temperatura ambiente? Si prende la distribuzione di Boltzmann, si fa il conto e si trova che una frazione inconcepibilmente piccola degli atomi è in uno stato eccitato; ecco perché l'aria è trasparente, mentre nelle atmosfere stellari le cose vanno in tutt'altro modo. E questo era solo un esempio. Ma se gli aspetti statistici non vengono tenuti in conto, della fisica quantistica non si capisce niente. Non a caso, molti lavori di Einstein, relatività a parte, hanno un fondamento statistico.

Nel mio progetto c'era poi un terzo tema, intitolato "ampiezza", che intendeva affrontare la meccanica quantistica vera e propria seguendo la linea di Feynman, come è descritta nel libretto "QED" che riporta quattro conferenze divulgative. La parte iniziale: interferenza, aspetti corpuscolari e ondulatori... sono riuscito a svilupparla senza problemi; ma poi mi sono imbattuto in una seria difficoltà per ricavare da qui gli stati stazionari e quindi i livelli energetici degli atomi. Così il progetto è rimasto incompleto in questa parte. Debbo dire che a questo ha anche contribuito la scarsa ricettività degli insegnanti, probabilmente motivata da quello che dicevo sopra: una corretta introduzione della fisica quantistica nella scuola secondaria ha dei prerequisiti molto più pesanti della relatività, e un insegnante, anche di buona volontà, forse non si sente all'altezza...

Conclusione: tutto questo lavoro è stato oggetto di una scuola estiva, nel 1999, e di due tesi di laurea; è disponibile in internet, ma non è mai stato pubblicato.

Ho riassunto abbastanza i grossi filoni di ricerca a cui mi sono dedicato. Passiamo ad un altro discorso. Come ho già detto, intorno agli anni '70, c'era un certo numero di persone nelle Università che si occupavano di ricerca didattica. Ci sono stati tentativi di organizzarle e di metterle insieme; per un certo periodo è esistito un gruppo nazionale del CNR — quando il CNR era articolato in gruppi —, che si chiamava: "*Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica*", il GNDF. A Roma ne facevano parte Giulio Cortini, Matilde Vicentini e Franco Dupré. Il gruppo nazionale significava un finanziamento comune da dividere tra le diverse unità; sia per questo, sia per discutere sull'attività da svolgere, si facevano riunioni ed un congresso annuale. Un esempio interessante del lavoro che si faceva è il progetto, detto dei "*contenuti minimi*" diretto da Cortini e mirato a fornire al Ministero della Pubblica Istruzione una base per i programmi, cioè: gli argomenti e le conoscenze minime in materia di fisica.

Fu una iniziativa utile perchè provocò discussioni, scambi di idee ed anche dissensi.

Ma in realtà invece dei contenuti minimi si arrivò a dei contenuti massimi, perché, cosa tipica italiana, ognuno rimane affezionato alle cose sue, quindi: “Mettiamoci questo, mettiamoci quello...”.

Questo era il primo germe di una difficoltà che si sarebbe vista anche in seguito e che alla fine mi spinse ad abbandonare il gruppo: la scarsa capacità di mettersi insieme, dovendo rinunciare a certi punti di vista o scelte che ciascuno poteva ritenere importanti; interessarsi a quello che facevano gli altri, per contribuire magari in modo critico. Per esempio, a quel tempo io avevo iniziato il lavoro sia sulla relatività che sulla fisica quantistica, e, nelle riunioni, facevo, come gli altri, la mia esposizione dei risultati e delle difficoltà; ma non ricordo di aver mai sentito qualche contributo, anche critico: “Questo non mi convince per la tale e tale ragione”. Posso citare un caso ancora più chiaro. Sull’insegnamento della fisica quantistica lavoravano diversi gruppi, a Milano, a Torino; forse anche altri. Al convegno annuale del 1991, che si tenne a Pisa, nella mia relazione introduttiva posi delle domande: “Si deve insegnare la fisica quantistica nella scuola secondaria?”, “Si può insegnare la fisica quantistica?”, “Come va insegnata?”. Naturalmente esposi le mie risposte. Ma la discussione che ne seguì fu per me deludente: solo interventi generici, ma nessun vero interesse ai problemi che avevo sollevato. Insomma, l’atteggiamento prevalente era: ognuno fa quello che gli sembra utile e interessante fare, ma perché andare a mettere il naso nel lavoro degli altri? Inutile spendere parole per spiegare quanto sia dannoso un simile atteggiamento proprio per il progresso della ricerca!

Per il mio lavoro, io avevo il controllo degli insegnanti con cui mi capitava di collaborare, e la risposta, più o meno positiva, dei ragazzi; ma dai colleghi non mi è mai riuscito di ottenere alcuna risposta, positiva o negativa che fosse.

Credo di aver dato un quadro complessivo della ricerca didattica che ho fatto. Ci ho speso tempo ed energie, ma anche qui, nell’ambiente pisano, le reazioni non sono mai state molto incoraggianti. Questo è successo un po’ dappertutto. Ora c’è stato un risveglio di interesse per la didattica e per il rapporto con la scuola secondaria, e tutti fanno esperimenti, laboratori, visite guidate per studenti. Perché? Per il calo degli studenti! È l’unica ragione. Associata a tutto ciò c’è molta improvvisazione. In questo ambiente io mi sono sempre sentito estremamente isolato; ho avuto alcuni collaboratori, ed erano persone con cui avevo avuto rapporti a lungo perché spesso si erano laureate con me. Ma da parte della quasi totalità dei colleghi il mio lavoro è stato ignorato; credo che pochissimi sappiano quello che ho fatto. Ma il problema è più generale. Ho già ricordato che esiste una grande differenza di atteggiamento tra matematici e fisici. I matematici hanno sempre sostenuto l’impegno di persone come Giovanni Prodi e Vinicio Villani nella didattica della matematica. Invece l’appoggio della generalità dei fisici alla didattica della fisica è sempre mancato. Ciò ha danneggiato la disciplina e la sua presenza nella scuola. Per fare un esempio, mi ricordo che Vinicio Villani, Presidente dell’Unione Matematica Italiana, in un discorso ad una tavola rotonda, calcolò che un’ora di insegnamento di matematica in meno significava 4000 insegnanti in meno, quindi 4000 laureati in matematica in meno! È un aspetto estremamente concreto e, se vogliamo,

corporativo; ma battersi per un'ora di insegnamento di fisica in più significa dare lavoro a 4000 persone che sono state formate e preparate da noi, che andranno a diffondere delle conoscenze ed una cultura. Tra i fisici non sono invece rare posizioni di tipo aristocratico: "La fisica al liceo è insegnata talmente male che, se venisse soppressa, sarebbe meglio; tanto all'Università siamo costretti a ricominciare da capo"; dimenticando, fra l'altro, la grandissima maggioranza dei cittadini che della fisica, dopo la scuola secondaria, non sentono più parlare.

Beh, ho parlato veramente a lungo. Chiudiamo qui.