

FRANCESCO MELCHIORRI

Francesco Melchiorri nasce a Roma il 24 marzo 1940. Sia il padre, con i suoi forti interessi per la ricerca farmacologica, sia la madre, insegnante, esperta in lettere antiche e in sanscrito, gli offrono molti stimoli per una buona formazione culturale. A sedici anni costruisce un piccolo telescopio, un riflettore di 40 centimetri, che a quel tempo è tuttavia il migliore della regione.

Fin dagli anni dell'università collabora con Bianca Olivo che ben presto diviene sua moglie. Interessato alle tecnologie avanzate connesse ai problemi della rivelazione di radiazioni, allestisce a Bari un laboratorio per la realizzazione di rivelatori entrando in contatto con esperti strutturisti della materia.

Nel 1966, Bruno Rossi convince Melchiorri ad applicare le sue tecniche di rivelazione allo studio della radiazione di fondo cosmico scoperta l'anno precedente da Arno Penzias e Robert Wilson e gli suggerisce di trasferirsi a Firenze, dove Francesco e Bianca Melchiorri si dedicano interamente allo studio del fondo cosmico nell'infrarosso, impiegando per la prima volta bolometri raffreddati a 0,3 K. Viene così eseguita la prima misura del fondo cosmico al millimetro, in anni in cui in Italia i più non credono né al Big Bang, né all'esistenza di una radiazione residua di quell'evento.

L'obiettivo primario della ricerca sulla radiazione di fondo cosmico, condotta prima presso il laboratorio alpino della Testa Grigia a 3500 metri, e poi con palloni stratosferici, è la cosiddetta anisotropia di dipolo, che permette, tra l'altro, di misurare il moto della Terra nell'universo. I principali risultati scientifici di questo periodo riguardano la prima misura nella regione millimetrica dell'anisotropia di dipolo e una prima rivelazione delle anisotropie a scala di 3 gradi della radiazione di fondo cosmico. Sta nascendo la cosmologia sperimentale.

Chiamato all'Università di Roma, prima alla cattedra di Laboratorio di Fisica e, tre anni dopo, a quella di Astrofisica, Melchiorri si dedica attivamente alla formazione di molti giovani ricercatori che hanno trovato collocazione in tutti i gruppi che si occupano dell'argomento in campo internazionale. Alla sua scuola si sono formati Paolo De Bernardis e sua moglie Silvia Masi, che hanno avuto un ruolo fondamentale nell'esperimento Boomerang, i cui risultati provano che tra i tanti modelli possibili, quello dell'universo inflazionario è decisamente il più plausibile. Con questo esperimento l'Italia ha recuperato quella posizione di prestigio nel campo della cosmologia che aveva acquisito negli anni 1970-80 e che aveva perduto a causa dell'incertezza di finanziamento e di collaborazione internazionali da parte dell'Agenzia Spaziale Italiana.

Regesto dell'intervista¹: Un astronomo in erba; A Fisica con Edoardo Amaldi e altri; Laurea in coppia; Tecnologie avanzate e rivelatori di radiazioni; Prime ricerche nel campo della cosmologia sperimentale: filtri per i rivelatori; La cattedra di Astrofisica a Roma e la formazione dei giovani; Innovazione tecnologica e collaborazione tra università e industria; L'esperimento Boomerang; Fermi e la fisica del vuoto; Gli europei «brillanti secondi» degli americani; la subordinazione dell'ESA alla NASA; I principali obiettivi perseguiti nel campo della cosmologia sperimentale: la radiazione di fondo cosmico, l'anisotropia di dipolo, l'anisotropia a piccola scala; La tecnologia e l'esperienza accumulata, strumento essenziale di competitività nella ricerca sperimentale; A proposito del dilemma: fisica pura o fisica applicata?; Quella che gli anglosassoni chiamano «serendipity»; La tradizione sperimentale romana e l'attuale scuola teorica; Un ruolo da definire meglio: quello dell'ASI, quello del CNR e quello dell'INFN e dell'INAF

UN ASTRONOMO IN ERBA

Qual è la sua data di nascita?

Io sono nato il 24 marzo del 1940, a Roma.

Mi racconti della sua famiglia. Quali sono i ricordi più significativi che riguardano i suoi genitori?

Mio padre era laureato in Farmacia e aveva una notevole passione per la ricerca farmacologica: aveva realizzato un laboratorio per produrre farmaci. Mia madre invece era laureata in Lettere Antiche; credo fosse una delle poche persone che a quell'epoca sapesse leggere il sanscrito. Si è dedicata all'insegnamento e ha continuato a insegnare per tutta la vita. Posso dire che tutti e due i miei genitori hanno influenzato notevolmente il mio carattere e i miei interessi. Mia madre era molto aperta culturalmente, ma probabilmente avrebbe desiderato che io mi dedicassi più alla letteratura; mentre mio padre aveva invece una grande passione per la ricerca. Siamo parlando degli anni fra il 1940 e il 1960, anni in cui la ricerca era molto limitata in Italia. Le ricerche di mio padre si svolgevano parte in casa, parte in laboratorio; noi avevamo il frigorifero di casa pieno di provette, alcune delle quali credo contenessero anche batteri pericolosi. Ho frequentato il liceo classico «Giulio Cesare», a Roma. I

¹ Realizzata a Roma nei giorni 25 luglio e 1° agosto 2000.

miei interessi riguardavano anche l'astronomia. Sui sedici anni mi sono costruito anche un piccolo telescopio. Data la qualità della ricerca in Italia quel piccolo telescopio è stato per un lungo periodo il più grosso telescopio del centro Italia, nonostante fosse un riflettore di soli 40 centimetri di diametro. A diciotto anni ottenni il premio Enrico Fermi istituito per i diplomati dei licei italiani.

I suoi interessi a quel punto erano già piuttosto definiti...

Dal liceo in poi i miei interessi erano già ben definiti: lo studio della fisica mi sembrava il modo migliore per raggiungere «un certo grado di verità». È un'esigenza che i giovani in genere hanno, raggiungere qualcosa di sicuro, che non sia «discutibile». E la fisica offre questo. In quei settori dove ci sono quantità misurabili, la ricerca fisica permette di arrivare a un grado di verità molto soddisfacente.

Quindi la scelta di iscriversi a Fisica è stata in qualche modo una scelta naturale?

È stata una scelta naturale, anche se in realtà al liceo riuscivo molto bene in italiano e, quindi, c'era in me un'attrazione notevole anche verso lingue o letteratura; ma allora, come adesso, le prospettive per questo tipo di attività erano abbastanza limitate. A ogni modo direi che mi sono trovato a decidere liberamente, senza condizionamenti.

Come hanno vissuto i suoi genitori questa scelta?

Non hanno posto nessun problema: forse mio padre avrebbe preferito qualcosa di più vicino alla sua attività, come ha fatto mio fratello che ha studiato medicina e poi si è specializzato in farmacologia. Ora è ordinario di farmacologia qui alla Sapienza. In ogni caso l'impulso alla ricerca mi veniva da tutti e due i lati. Da parte di mia madre, che era laureata in Lettere, ma studiava lettere antiche, perché lo studio di lingue non facilmente decifrabili è sicuramente vicino alla ricerca scientifica. Per quanto riguarda mio padre, lui era meno preparato dal punto di vista «teorico» perché aveva dovuto smettere di studiare ed era andato in guerra, la prima guerra mondiale. Terminato il conflitto c'era stata una specie di sanatoria, per cui la gente prendeva la laurea più facilmente. Lui l'aveva presa con il massimo dei voti, il che vuol dire che aveva una base scientifica valida, ma non aveva approfondito molto. Era una di quelle persone

che hanno il senso di ciò che può essere utile. Ricordo che aveva preparato una penicillina, che si chiamava «Ritardo-penicillina», che agiva lentamente e quindi non era necessario fare un'iniezione ogni due ore, come accadeva prima.

A FISICA CON EDOARDO AMALDI E ALTRI

Quando ha frequentato l'università, qui a Roma, che atmosfera ha trovato?

C'erano Edoardo Amaldi, Marcello Conversi. Ho vissuto ancora in un ambiente molto all'antica, nel senso che Amaldi dettava legge. Quando si avevano dei problemi o si dovevano fare degli esami si andava a parlare con lui e quello che diceva era legge. Questo ora non esiste più, e forse è anche un bene; ma è certo che quando c'è una persona in gamba, che sa orientare le persone, è qualcosa di estremamente valido. Per esempio, quando mi dovevo laureare sono andato a parlare con Amaldi e lui mi ha detto: «C'è un piccolo gruppo che ha iniziato a occuparsi di ricerca spaziale. Vai in quel gruppo». Di quel gruppo faceva parte Guido Pizzella, che era appena tornato dagli Stati Uniti dove aveva studiato le cinture di Van Allen con lo stesso James Van Allen. Io mi sono messo a lavorare sul primo esperimento europeo su satellite, che si chiamava HEOS A-1 ed era uno strumento per misurare il vento solare. Allora si dava un notevole peso a questo argomento, che attualmente è di nuovo oggetto di interesse perché l'energia in gioco è molto alta e quindi influenza la magnetosfera terrestre. Di recente c'è stato il lancio di un insieme di quattro satelliti, *Cluster*, che devono andare a misurare nel dettaglio la distribuzione del vento solare, perché cambia la struttura dell'alta atmosfera terrestre e quindi può interferire sulle onde radio e su molti aspetti della ionosfera e stratosfera. In quel primo esperimento avevo un compito ben preciso, ma la linea me l'aveva indicata Amaldi. Uno non era libero di scegliere, si andava lì e sulla base del curriculum lui diceva cosa fare. Nel mio caso è stata una scelta felice, mi sono trovato bene e ho cominciato a lavorare nel campo della ricerca spaziale.

C'era ancora Enrico Persico?

Sì, Persico era addirittura il mio «obiettivo di persecuzione». È stato un notevole esperto di ottica e io lo tormentavo perché volevo

un libro che desse tutte le informazioni su dove porre esattamente i diaframmi per migliorare l'immagine. Lui mi diceva: «Invece di leggere il libro, tira fuori le equazioni relative e trova qual è la posizione migliore». Io, invece, volevo realizzare praticamente la cosa e non mettermi a fare tutti i conti, e quindi avevamo interessanti discussioni sull'argomento. Naturalmente lui era un fisico teorico, ma aveva anche interessi sperimentali e aveva scritto un famoso manuale di ottica per l'università.

Persico era un ottimo insegnante e il suo testo di ottica era esemplare.

Sì, Persico era anche molto disponibile. Allora mi sembrava ovvio passare un'ora di tempo discutendo con un professore, ora mi rendo conto che uno studente che fa domande per un'ora di seguito può anche essere fastidioso. La cosa che mi ha colpito di più sull'organizzazione dei corsi qui a Fisica era il «tutoraggio», qualcosa che viene riscoperta adesso. Io avevo Gherardo Stoppini come *tutor*, era una persona che si impegnava veramente molto, passava quattro ore al giorno con noi a far problemi, discutere. Era veramente efficace, ma bisogna riconoscere che eravamo solamente undici studenti.

LAUREA IN COPPIA

Con sua moglie avete iniziato presto a collaborare?

Sì, fin da allora, e per tutto il resto della vita, ho lavorato con mia moglie Bianca. Ci siamo conosciuti durante l'università. Stoppini, ma anche Amaldi, ci dava il seguente consiglio: «Se vi dovete fidanzare, scegliete adesso, sbrigatevi, perché dopo non c'è tempo...».

Se la scelta, come nel vostro caso, è analoga, si crea forse anche un certo tipo di solidarietà. L'attività di ricerca, se impegna uno solo dei coniugi, può diventare incompatibile con i rapporti sentimentali, matrimoniali... Esiste una famosa storiella in cui viene chiesto a tre persone che fanno professioni diverse se, posti di fronte all'alternativa, preferirebbero conservare la moglie o l'amante. Ciascuno motiva la scelta a seconda delle sue esigenze professionali o personali. Il fisico invece preferisce tenerle entrambe perché così può far credere alla moglie di trovarsi con l'amante, e dire all'amante di stare con la moglie, mentre lui sfugge a tutte e due e può starsene in pace in laboratorio.

Sì, effettivamente ho visto molti colleghi che si sono sposati con persone che lavoravano in altri campi; ma a un certo punto la vita diventa difficile, perché l'impegno è globale, e si può essere costretti a fare delle scelte se si ha una famiglia da seguire. Soprattutto un fisico ha bisogno di non interrompere il suo discorso con l'esperimento: non è una materia per la quale è possibile chiudere la porta del laboratorio e dimenticarsi di tutto. In questo senso lavorare insieme aiuta a vivere insieme.

Ha ancora qualche ricordo speciale degli anni universitari?

Sì, ricordo bene quando hanno messo in funzione l'acceleratore di Frascati. Giorgio Salvini quella mattina, facendo lezione, sbagliava tutto. A un certo punto si è scusato dicendo: «Sono stato sveglio tutta la notte, non capisco più niente, finalmente è entrato in funzione l'acceleratore». È stata un'emozione notevole. Si sentiva la connessione diretta con la ricerca. Poi è diventato tutto molto più asettico, soprattutto man mano che l'Istituto si è popolato di teorici. Loro non hanno l'aggancio diretto con la realtà come quando si ha davanti un esperimento che riesce, che dà nuove risposte, come quando uno vede quello che sta succedendo. Probabilmente un fisico teorico bravo riesce lo stesso a vedere attraverso le equazioni, le equazioni sono uno strumento che genera questa sensazione; ma per uno studente è molto più bello avere l'emozione direttamente. Io sono stato molto fortunato in questo senso, perché la scuola di Roma è molto buona.

TECNOLOGIE AVANZATE E RIVELATORI DI RADIAZIONI

Tornando alla tesi, qual è stato poi lo sviluppo della sua ricerca?

Mi sono accorto che c'era un problema nei rivelatori. I rivelatori che si usavano allora, al solfuro di cadmio, erano rivelatori non molto veloci, sensibili. Ho deciso di approfondire questo aspetto che riguardava la struttura della materia, lo stato solido, e in un certo senso sono uscito fuori dalla ricerca spaziale. A quell'epoca a Roma non c'erano possibilità; c'era invece un professore di Milano, Alberto Bonetti, che si era laureato con Giuseppe Occhialini e aveva da poco vinto la cattedra a Bari, dove sono stato invitato da lui per un paio d'anni e avevo una totale libertà di fare la ricerca che volevo. Fortunatamente era un momento in cui c'erano fondi per la ricerca

nel Sud e, quindi, ho potuto mettere su un laboratorio e approfondire questo aspetto particolare dei rivelatori. Questa esperienza ha influenzato notevolmente la mia successiva attività di ricerca, perché conoscere i rivelatori è una cosa estremamente utile quando si vuol fare qualsiasi altra cosa. Molti di coloro che lavorano in astrofisica e cosmologia vengono da struttura della materia, sono fisici dello stato solido i quali a un certo punto si sono appassionati a un altro settore. A Berkeley per esempio c'è Paul Richards, persona con la quale collaboriamo e siamo in competizione, che è un «grande» di struttura della materia, il quale ha lasciato la fisica dello stato solido ed è entrato in astrofisica, proprio perché queste conoscenze permettono di sviluppare delle tecnologie avanzate. A Bari, lavorando con mia moglie Bianca, abbiamo realizzato un rivelatore particolarmente sensibile e abbiamo fatto un brevetto, che poi è passato alla Ferrania, che produceva macchine fotografiche. Due anni fa ho fatto un esame alla tiroide con un sistema a scintigrafia e ho scoperto che la macchina che rivelava gli elettroni di bassa energia si basava sul nostro brevetto di tanto tempo prima. Ora io lo utilizzavo per delle cure mediche! È stato un riscontro degli sbocchi inattesi che può avere l'attività di ricerca che riguarda la fisica applicata. Noi volevamo applicarla allo studio del vento solare, ma alla fine gli usi possono essere insospettati.

PRIME RICERCHE NEL CAMPO DELLA COSMOLOGIA SPERIMENTALE:
FILTRI PER I RIVELATORI

Dopo questo periodo a Bari che cosa è successo?

L'orientamento decisivo mi venne da Bruno Rossi, che allora era presidente del MIT (Massachusetts Institute of Technology). Era un grande fisico e aveva messo su sistemi per misurare i raggi cosmici, come la famosa camera a coincidenza. Rossi mi suggerì di passare a Firenze. L'anno precedente, nel 1965, Arno Penzias e Robert Wilson avevano scoperto la radiazione di fondo cosmico, Rossi lo sapeva e quindi mi spinse ad applicare quelle tecniche di rivelazione a un argomento completamente nuovo. In Italia non c'era nessuno, che ne sapesse qualcosa. Rossi veniva ogni tanto in Italia, dava delle idee e cercava di organizzare la ricerca.

È bello che questa indicazione le venisse da uno dei «padri», il pioniere della fisica dei raggi cosmici in Italia, che pur essendo stato

costretto a suo tempo a emigrare negli Stati Uniti a causa delle leggi razziali, ha continuato sempre a vegliare sull'Italia e a proteggere i giovani ricercatori.

In fisica è stato sempre così. Uno degli elementi centrali è che ci siano delle persone in gamba che suggeriscono. Se poi uno vive vicino a una persona in gamba, tutto diventa facilissimo. Io ho visto persone che sono state per un certo tempo con Enrico Fermi, per esempio. Loro dicevano che era una pacchia, perché veniva subito risolto qualunque problema che altri risolvevano in una settimana o un mese, e magari mai. Quando si parla di «scuola», cioè del fatto che da un gruppo vengono fuori tantissime persone valide, non c'è da meravigliarsi. La meraviglia nasce dal fatto che c'è uno che ti risolve rapidamente i problemi. Il primo passo è dare un'idea buona, dopo si tirano fuori un sacco di cose.

Io, allora, sono andato a Firenze, dove l'aiuto principale l'ho avuto da Giuliano Toraldo di Francia, che stava allora all'IROE (Istituto di Ricerca Onde Elettromagnetiche) e che è sempre stato uno scienziato estremamente aperto. È una persona straordinaria, un fisico di grandissima cultura e di un'apertura mentale notevolissima. Credo che in futuro il suo contributo sarà molto rivalutato rispetto a fisici ben noti come Amaldi o Occhialini. Se gli si parlava di un problema lui si immedesimava e dopo un po' diventava lui quello che stava discutendo del problema, il problema diventava suo. Quando gli parlai della radiazione di fondo cosmico lui era già avanti negli anni, ne aveva circa settanta. Mi disse: «Peccato che sono così anziano, altrimenti mi metterei a lavorare su questo argomento entusiasmante». Io avevo il timore che per l'IROE non potesse andar bene una ricerca di cosmologia; ma lui mi disse: «Qui c'è un gruppo che si occupa di onde acustiche, quindi se l'IROE si occupa di onde acustiche si può occupare di qualunque cosa!». Mettemmo su subito un piccolo gruppo.

Quindi si può dire che furono questi gli esordi del suo lavoro di ricerca nel campo della cosmologia sperimentale.

Sì, è proprio così. Io misi su il laboratorio e cercai di capire cosa potevamo fare noi con le forze che avevamo, che erano molto limitate. La soluzione «furba» è stata quella di sviluppare non tanto i rivelatori, perché i rivelatori sono molto difficili da farsi (non c'era la tecnologia per farlo), ma i filtri da mettere davanti ai rivelatori. I filtri all'inizio sembravano qualcosa di meno importante, ma in realtà

quando si ha un rivelatore molto buono e davanti si hanno dei filtri che assorbono il 70 per cento della radiazione, si finisce con il perdere tutti i vantaggi offerti dall'alta tecnologia. Allora c'era un giapponese - Hyroshi Yoshinaga - che aveva cominciato a lavorare sui filtri per il lontano infrarosso, che sono complicati, diversi da quelli che riguardano la radiazione visibile. Noi seguimmo quell'indirizzo e ottenemmo dei filtri molto buoni, così buoni che un giorno, a Firenze, arrivò Yoshinaga, che aveva letto i nostri lavori, aveva capito che i nostri filtri erano migliori e quindi voleva imparare. Il nostro laboratorio era in un vecchio convento, a Quaracchi (che significa «chiare acque» secondo l'umorismo toscano, poiché in realtà si tratta di una zona paludosa). Bisogna pensare che, in seguito, Yoshinaga divenne presidente dell'Itachi, quell'enorme ditta che produce dei frigoriferi ai televisori. Per un certo periodo di tempo l'Itachi produsse degli spettrometri nell'infrarosso che costavano moltissimo e lui ce ne aveva mandato uno proprio per aiutarci a lavorare. Era un giapponese all'antica, molto cerimonioso e naturalmente era rimasto sconvolto dal nostro modo di fare, completamente diverso dal loro. Era entusiasta perché l'avevamo portato a visitare dei paesini vicino a Firenze e gli erano piaciute le torri perché ritrovava le torri che nell'antico Giappone venivano costruite per rivaleggare in altezza. Avevamo stabilito questo contatto. Avevamo, quindi, fabbricato degli ottimi filtri e a questo punto facemmo la prima misura interessante. Andammo in alta montagna, al laboratorio della Testa Grigia (Plateau Rosa, Cervino) che è a 3500 metri di altezza, per ridurre il vapor d'acqua nello spessore di atmosfera sovrastante, e facemmo le misure di fondo cosmico. Impiegammo per la prima volta bolometri raffreddati a 0,3 K. Fu così eseguita la prima misura del fondo cosmico al millimetro, laddove era previsto il picco nello spettro: le osservazioni furono condotte presso la stazione alpina, grazie all'aiuto fondamentale del professor Castagnoli, direttore del laboratorio di Torino. Si passò quindi all'impiego di giganteschi palloni stratosferici. La cosa buffa è che tutto questo veniva fatto in Italia, dove c'era la convinzione che la radiazione di fondo cosmico neanche esistesse. Dai più - Occhialini compreso - veniva ritenuta valida la teoria dello stato stazionario, secondo la quale non c'era stata nessuna esplosione iniziale e quindi nessuna radiazione residua di quell'evento. Era una convinzione diffusa dappertutto. Ricordo ancora negli anni '70, Franco Pacini, che ha lavorato sulle stelle di neutroni e quindi è aperto all'astrofisica moderna, che diceva: «Io resterò l'ultimo degli imbecilli, ma non ci credo». C'era questo atteggiamento degli astronomi che rifiutavano totalmente questa radiazione. Dopo

aver fatto la nostra misura la pubblicammo, ma in Italia non ci fu alcuna reazione. Invece da Princeton mi telefonò David Wilkinson, uno dei padri della nuova cosmologia, e mi disse di andare là per discutere quel risultato, che consideravano molto importante. Là, all'epoca, c'era anche Remo Ruffini che ci aiutò a stabilire delle relazioni. Così cominciò un tragitto totalmente fuori dell'Italia, dove la nostra attività di ricerca continuava invece a essere ignorata. Eravamo piuttosto apprezzati negli Stati Uniti, dove ci chiamavano continuamente per discutere le nostre ricerche e vedere cosa si poteva fare insieme.

A quel punto ci siamo resi conto che l'atmosfera costituiva un limite e, quindi, dovevamo dedicarci a esperimenti fuori dell'atmosfera. Su satellite non era pensabile, perché l'Italia era ancora agli inizi e non c'era la possibilità di usare i satelliti. Abbiamo puntato sui palloni stratosferici. A Trapani (Milo) l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) che era appena nata, aveva messo su una base dalla quale lanciava dei palloni con attaccate delle sonde per misurare la distribuzione della temperatura e della pressione con la quota. Lì discutemmo la possibilità di lanciare un pallone molto grande per portare su mille chili di strumentazione. Era un pallone che si espandeva fino a diventare più grande del Colosseo, era veramente gigantesco. Così iniziò questa attività.

Tornava in auge il pallone che a suo tempo aveva avuto una funzione importante, quando si faceva ricerca sui raggi cosmici nell'immediato dopoguerra.

Sì, e poi abbandonato! In realtà si tratta di palloni che vanno a grandi altezze, circa 40 chilometri, quindi al di sopra di dove volano gli aerei. Fu un periodo veramente pionieristico, anche divertente. I palloni che andavano su, venivano trasportati dai venti stratosferici, per esempio fino alla Spagna e quindi viaggiavano un giorno e una notte. C'era un accordo per cui veniva recuperato il carico sganciato con il paracadute, il pallone invece si perdeva perché esplodeva. Ma, durante quel tragitto passavano sulla Libia e ogni volta ci arrivava un telegramma da Gheddafi, che diceva: «O voi ve ne andate o abbattiamo il pallone». Noi eravamo tranquilli perché tanto a 40 chilometri non poteva arrivarci. Però l'idea di un aereo libico su Trapani era un po' meno divertente! Ogni volta rischiavamo l'incidente diplomatico.

Questa attività è stata piuttosto fruttuosa perché si sono ottenuti una serie di risultati interessanti. In particolare è stata scoperta quel-

la che si chiamava anisotropia di dipolo: per cui, in pratica, siamo stati fra i primi a misurare il moto della terra rispetto all'intero universo. Infatti i principali risultati scientifici di questo periodo riguardano la prima misura nella regione millimetrica dell'anisotropia di dipolo e una prima rivelazione delle anisotropie a scala di 3 gradi della radiazione di fondo cosmico. La bassa statistica delle osservazioni ha convinto i cosmologi teorici a usare questo ultimo dato come limite superiore, ed esso è rimasto come il più stringente dal 1980 al 1992, quando COBE ha osservato anisotropie di simile ampiezza ma con copertura totale del cielo. A quel punto gli americani si erano cominciati a interessare alla cosa. Infatti organizzammo una collaborazione con Princeton e con l'Università di Washington per fare un volo transatlantico dalla Sicilia agli Stati Uniti, utilizzando 6 giorni e 6 notti di volo. Un'impresa notevole perché comportò che la flotta americana si organizzasse con diverse navi per ricevere la trasmissione. Non c'erano ancora satelliti che potessero ricevere la trasmissione dal pallone, negli anni '71-'72, e gli americani erano molto preoccupati di quell'oggetto «strano». Probabilmente avevano anche degli interessi militari, volevano capire come un radar potesse vedere un pallone stratosferico. I radar hanno dei filtri elettronici per individuare oggetti che si muovono rapidamente come *jets*, razzi, mentre il pallone, mosso dai venti stratosferici, si sposta a 100/200 chilometri orari. Il pallone, una volta arrivato all'altezza delle coste degli Stati Uniti, non fu «visto» dai radar della difesa, il che suscitò un vespaio. Sul «New York Times» scrissero che in futuro l'invasione dei cinesi sarebbe avvenuta per mezzo dei palloni. Così fu messo un veto da parte degli americani su quel tipo di esperimenti e solo adesso, dopo tanti anni, si ricomincia a parlare di voli transatlantici. Quel volo fruttò un notevole numero di risultati scientifici importanti. Piano piano eravamo diventati sicuramente i primi in Europa a lavorare sulla cosmologia sperimentale, mentre negli Stati Uniti c'erano vari gruppi di ricerca.

LA CATTEDRA DI ASTROFISICA A ROMA E LA FORMAZIONE DEI GIOVANI

Si sono creati dei centri di interesse in Europa come risposta allo stimolo che veniva dal vostro lavoro di ricerca?

Sì, e questo ci permise di cominciare a lavorare da un punto di vista diverso. A Firenze sono stato un dipendente del CNR e quindi lavoravo esclusivamente per la ricerca, anche se cercavo di insegna-

re, andavo ogni tanto all'università e cercavo di fornire informazioni. Poi fui chiamato a Roma, prima sulla cattedra di Laboratorio di Fisica e, tre anni dopo, su quella di Astrofisica, perché i risultati che avevo ottenuto erano abbastanza significativi. Cominciai a pensare di preparare dei giovani non soltanto a livello di informazione, ma anche seguendoli se erano bravi e avevano voglia di lavorare, per inserirli in attività di ricerca valide che in Italia erano poche. L'ho fatto per anni, per cui oggi si possono trovare giovani che si sono formati nel mio gruppo nei più disparati laboratori d'Europa e d'America. Di recente è stata preparata dall'ESA (European Space Agency) una lista di gruppi di ricerca nel campo della cosmologia del *Big Bang* nella quale non c'è un gruppo che non abbia almeno un giovane o un ex giovane proveniente dal mio laboratorio.

Come ha organizzato il lavoro di laboratorio in modo da attirare dei giovani validi e prepararli a continuare a lavorare in questo campo?

Il punto chiave fino a questo momento è stata la tesi di laurea. Una tesi sperimentale dura un anno, un anno e mezzo, ed è in questo periodo che, lavorando continuamente a contatto, si prepara veramente una persona in gamba. L'anno scorso si sono laureati con me un ragazzo e una ragazza che volevano continuare a lavorare insieme - cosa che io considero importante, perché la mia vita è andata avanti così -, e hanno trovato un posto a Stoccolma, dove c'è un gruppo che sta lavorando in un settore analogo a quello in cui lavoriamo noi. Sono andati e hanno detto loro che dovevano fare il dottorato, ma guardando gli esami alla fine glieli hanno abbonati tutti. La nostra laurea adesso è equivalente al dottorato all'estero, ma purtroppo il nostro Governo invece di puntare su questo e far riconoscere che la laurea - sto parlando della fisica, non so in altri settori - è equivalente al dottorato, ha deciso di eliminare questa complicazione e di portare la laurea a tre anni togliendo il lavoro di tesi di laurea. Ho paura che questo sistema produrrà persone non sistematiche, che avranno una preparazione troppo bassa per andare all'estero con qualche sicurezza, saranno in competizione alla pari con i giovani degli altri paesi, che verranno magari preferiti sotto altri profili. È un problema delicato. Finora tutti quelli che si sono laureati con noi hanno appreso una gran quantità di tecnologie per cui se volevano andare nell'industria avevano anche questa possibilità. L'industria italiana in genere è aperta, non è così negativa come si pensa. Ci sono industrie che vogliono mettere su laboratori e si rivolgono a noi, chiedendo se ci sono persone in grado di farlo.

INNOVAZIONE TECNOLOGICA E COLLABORAZIONE
TRA UNIVERSITÀ E INDUSTRIA

Come sono nati e come si sono sviluppati i contatti con l'industria?

La grossa industria, come per esempio l'Alenia, ha degli interessi troppo ben determinati perché si riesca a esercitare una qualche influenza dall'esterno; lavorano su grossi contratti, con lo Stato italiano, con l'ESA, hanno tempi e scale da rispettare, ben difficilmente si imbarcano in qualcosa di nuovo. Però queste industrie danno molte cose da fare fuori, sono dei centri che distribuiscono lavoro a industrie più piccole. Queste ultime sono molto interessate a modernizzarsi e a tentare nuove soluzioni e sono quelle sulle quali si può agire. Si può sperare di agire sulla grossa industria avendo una posizione politica, mentre a livello universitario si può pensare di stabilire degli accordi con le piccole industrie e di andare avanti laddove si riesce a fornire qualche informazione.

Per esempio c'era una piccola industria che produceva telescopi per amatori a San Donà di Piave, la ditta Marcon. Il proprietario era un anziano signore, che insegnava disegno nelle scuole tecniche. Poi insieme al figlio, che aveva studiato un po' ingegneria, si era messo a fare telescopi. Li faceva molto bene, perché aveva delle piccole macchine messe a punto da lui stesso per fare gli specchi. Noi utilizzammo il centro di calcolo dell'INFN per calcolare spessore minimo e forma da fare perché lo specchio fosse più leggero possibile e poi gli passammo l'informazione. Così entrammo in competizione con delle ditte come la MATRA nel campo delle ricerche spaziali, dove era necessario avere telescopi di questo tipo. La prima volta è stato divertente. Per uno specchio di 1 metro le ditte francesi e tedesche chiedevano cifre dell'ordine del miliardo, mentre Marcon lo faceva per 20 milioni. In realtà dietro c'era tutto un lavoro di progetto del nostro centro di calcolo che se fatto da una ditta sarebbe stato molto costoso e poi lui era un artigiano, per cui alla fine si riusciva a fare tutto con una cifra ridicola rispetto alle altre. Così piano piano la ditta Marcon crebbe, grazie a noi che la avevamo lanciata nel campo della fornitura di specchi. Esistono ricerche, come nel campo della luce Čerenkov dei raggi cosmici, che richiedono un'ottica di grosse dimensioni più leggera possibile. Quella piccola industria si sviluppò coinvolgendo tutti gli abitanti del paese e il proprietario fu eletto sindaco. È certo una situazione irripetibile, ma dà l'idea del fatto che esistono molti bravi artigiani in Italia che, una volta guidati e messi sulla linea della tecnologia un po' avanzata, non si tirano indietro. Natu-

nalmente da soli non sono in grado di risolvere le equazioni differenziali che dicono come deve essere fatto lo specchio, ma se hanno un appoggio possono andare avanti e produrre delle cose notevoli.

Qualcosa di analogo accadde con un'altra piccola industria. I francesi volevano produrre un telescopio del diametro di 2 metri in fibra di carbonio, che essendo leggerissima, funzionava benissimo per i palloni. Il programma fatto dalla MATRA si chiamava *Pronaos* ed era costato circa una ventina di miliardi. Noi presentammo un progetto all'ASI per fare uno specchio di 3 metri in fibra di carbonio, chiedendo 200 milioni. A prima vista la cosa apparve sospetta, perché non riuscivano a capire come fosse possibile. Dietro c'era un semplice accordo con una ditta a cui avevamo passato l'informazione su come fare gli alberi per le barche in fibre di carbonio, da cui la ditta guadagnava molto di più che non facendo lo specchio per noi. I francesi rimasero molto colpiti e non riuscivano a crederci; tanto più che, per risparmiare, loro avevano fatto il rivestimento in alluminio, mentre il nostro era interamente in fibra di carbonio. In quella piccola ditta che lavorava in Sardegna c'era un ingegnere molto bravo, che si era dedicato a studiare le fibre di carbonio. Dalle carrozzerie per le macchine da corsa passò agli alberi per le barche. Ultimamente, con Luna Rossa, è successo che l'albero si è rotto, ma a livello del giunto, il punto debole, mentre l'albero in fibra di carbonio ha resistito.

Queste connessioni riguardarono anche lo sviluppo di rivelatori. Attualmente abbiamo in corso una collaborazione su dei nuovi rivelatori. Il problema dell'Europa è che stiamo perdendo i colpi nei confronti degli Stati Uniti e del Giappone sulle tecniche avanzate. Ci sono, ormai, delle tecnologie molto avanzate che non conosciamo affatto. Non abbiamo quasi nessuno che ci lavora e il rischio è che nel giro di pochi anni ne restiamo completamente fuori. Si tratta delle nanotecnologie, della nanoelettronica. C'è qualcuno che cerca di fare un po' di ricerca in questa università, ma non è lontanamente sufficiente. Negli ospedali americani utilizzano strumenti che riescono a contare il numero di atomi e che, quando passa un virus, riescono a individuarlo. È qualcosa che va al di là delle nostre possibilità. Qualche anno fa è stato messo su un istituto di elettronica dello stato solido del CNR da parte di Antonio Paoletti, un professore che probabilmente aveva ottimi agganci politici e ha ottenuto ottimi finanziamenti. Ha messo su un laboratorio con delle macchine che funzionano quasi al livello di nanoelettronica - sono fasci di elettroni che si usano per lavorare - e che sono praticamente uniche in Italia. Queste macchine le ho viste in varie università statunitensi

dove sono utilizzate per insegnare agli studenti. In Italia ce n'è una sola, questa è la differenza. Però possiamo utilizzare questi oggetti per fare nuovi rivelatori. Ci sono un paio di persone che hanno lavorato a Berkeley e ci danno una mano per avviare questa attività. L'industria ha cominciato ad alzare le orecchie, quando ha percepito che forse si riesce a mettersi in pari con gli americani. Se noi diventiamo totalmente dipendenti dalle industrie straniere, saranno loro che faranno il prezzo. Se domani decidessero di chiudere il rubinetto dell'informazione, noi non saremmo in grado di fare più nulla.

Per mettere in moto certi meccanismi è fondamentale, quindi, che l'industria si metta nell'ottica della necessità dell'innovazione.

Sì, ma l'altro aspetto fondamentale del problema è, purtroppo, che l'innovazione è molto costosa e quindi per l'industria italiana significa investire centinaia di miliardi. Il problema è quello dell'investimento iniziale, investimento che negli Stati Uniti e in Giappone è già stato fatto, da altre parti no. Non l'ha fatto l'Italia, non l'ha fatto la Francia, parzialmente lo ha fatto la Germania. In Francia l'unico gruppo un po' avanzato e che ha speso dei soldi - perché ha avuto, in realtà, commesse militari - è il gruppo di Pierre Encrenaz. È l'unico gruppo con cui ci intendiamo per quanto riguarda l'attività di ricerca. È l'unico abbastanza avanzato per poter dire: facciamo insieme uno sforzo.

L'ESPERIMENTO BOOMERANG

Nel caso della fisica delle alte energie e anche dei programmi spaziali è stato naturale e fisiologico coalizzarsi e, in teoria, ci si dovrebbe sforzare sempre di più di pensare in termini di Europa.

Purtroppo non è facile. Già per quanto riguarda l'ESA i rappresentanti italiani praticamente non hanno voce in capitolo. I francesi pensano solo a se stessi: se c'è da prendere una decisione si chiedono quali sono le industrie francesi interessate e se ci sono allora dicono di andare avanti, se non ci sono non si fa. I tedeschi sono abbastanza aperti e collaborativi. Al Max Planck c'è Ernst Kreysa con cui collaboriamo, con loro riusciamo a fare dei bolometri, ma non dell'ultima generazione. Infatti anche lui è irritato perché non riesce a seguire gli americani. Lui ha un piccolo studio a Berkeley dove va per «copiare» gli americani, ma non sempre ci riesce, perché la tec-

nologia fa dei tali balzi in avanti. Faccio un esempio: circa cinque anni or sono c'è stata una riunione tra noi e Paul Richards di Berkeley per proporre l'esperimento *Boomerang*, che è stato poi un grande successo. Si è deciso di cambiare il rivelatore, perché ci sono molti raggi cosmici in Antartide e questi danno segnali spuri. Abbiamo proposto di fare un nuovo bolometro che fosse una ragnatela molto sottile in modo da raccogliere la radiazione elettromagnetica di grande lunghezza d'onda, mentre i raggi cosmici l'avrebbero attraversata senza dar fastidio. Gli americani erano entusiasti e l'avevano chiamato *Italian cheese* pensando che il formaggio con i buchi fosse italiano. Noi abbiamo avuto l'idea e quindi abbiamo proposto di realizzarlo noi stessi; loro erano d'accordo però avevano fretta. Noi avevamo appena iniziato a prendere i contatti quando Andrew Lang, che è un collaboratore di Richards, mi ha chiamato dicendo che avevano i bolometri pronti. Loro hanno una tecnologia tale per cui una volta avuta da noi l'idea, hanno sviluppato tutto. Se non facciamo uno sforzo notevole verso l'innovazione tecnologica, non usciamo da questa situazione.

In definitiva le traversie dell'Agenzia Spaziale Italiana hanno comportato un rallentamento nell'attività di ricerca intorno agli anni 1985-90. Il progetto di un telescopio di 3 metri su pallone (OLIMPO) è stato prima finanziato in parte e poi sospeso. Il progetto per un satellite europeo, CIRBS, del tutto simile a COBE, ma che lo anticipava di vari anni, non è stato adeguatamente caldeggiato presso la Comunità europea. In queste condizioni, perso anche il contatto con i sovietici, il gruppo ha finito con l'orientarsi verso un programma a raggio limitato che impiegasse le tecniche acquisite nel campo dei palloni stratosferici. Per studiare la fattibilità di un esperimento che potesse essere competitivo con i progetti su satellite, venne sviluppato prima il programma ULISSE, dove venivano impiegati «telescopi» da 5, 10 e 60 centimetri di diametro, e poi il programma ARGONAUT con uno specchio di circa 1 metro di diametro. Questa lunga attività convinse il gruppo della fattibilità di un esperimento di lunga durata (almeno dieci giorni e altrettante notti) con un telescopio di almeno 1,5 metri di diametro. Fu in quell'atmosfera che si sviluppò il progetto *Boomerang*.

A questo punto, considerando le difficoltà esistenti, quali sono stati gli ingredienti del successo dell'esperimento Boomerang?

L'esperimento *Boomerang* è nato dal tentativo in corso da tanti anni di mettere su un esperimento per misurare quelle che si chia-

mano le anisotropie del fondo cosmico, cioè la struttura dell'universo a grande distanza. Questa ricerca ha implicazioni molto forti per la cosmologia. Noi abbiamo tentato per tanti anni, ma era qualcosa di molto difficile da realizzare.

Per esempio, negli anni '80 eravamo giunti a un accordo con i russi - all'epoca c'era Jacob Zeldovich che era a capo dell'Istituto Spaziale di Mosca (IKI) - per cercare di fare insieme un esperimento di quel genere su satellite. I russi avevano un progetto che chiamavano AELITA (ho scoperto dopo che era il nome di un'eroina in un romanzo spaziale di successo in Russia e che doveva distruggere lo scudo spaziale americano) e ci hanno invitato per mostrarci un satellite quasi pronto, dove noi avremmo dovuto mettere rivelatori e tecnologia un po' avanzata. A quell'epoca loro non avevano rivelatori nel lontano infrarosso. Zeldovich era una persona di grande cultura aperto e un po' al di sopra delle regole, che erano ancora quelle rigide dell'Unione Sovietica per le quali noi abbiamo passato un giorno all'aeroporto perché dovevano essere sicuri che eravamo proprio noi e non qualche spia. Lui aveva deciso che in qualche modo dovevamo organizzare una collaborazione. Proprio in quei giorni doveva venire a Mosca una delegazione italiana guidata da Giulio Andreotti, con Antonino Zichichi, che doveva firmare un accordo per il cosiddetto *World Lab* e Zeldovich aveva proposto di fare un accordo anche per la faccenda del satellite. Io ho provato a parlare con l'ambasciatore a Mosca, Sergio Romano, il quale ha parlato con Zichichi che invece era furibondo, nel timore che si potesse disturbare il suo progetto del *World Lab* e ha posto il veto. Io l'ho detto a Zeldovich e lui ha detto che non esisteva alcun problema. Io stavo in un albergo che si chiamava Akademiskaja, una struttura semidiroccata destinata agli studenti del Terzo Mondo che seguivano i corsi all'IKI. La mattina improvvisamente mi sono venuti a chiamare, mi hanno caricato su una limousine nera con bandierine e mi hanno portato a una riunione. Zeldovich mi aveva messo nella commissione sovietica come uno dei membri! A un certo punto un funzionario italiano mi ha stretto perfino la mano, dicendo: «Lei parla l'italiano benissimo!» Alla fine non si è concluso niente, perché Andreotti era venuto per firmare l'accordo per il *World Lab* e non si potevano improvvisare altri accordi. Noi abbiamo cercato di fare qualcosa, ne abbiamo parlato con Antonio Ruberti che allora era ministro per la Ricerca Scientifica, ma gli americani non erano molto favorevoli al trasferimento di tecnologie ai Russi, dato che le tecnologie nel lontano infrarosso potevano avere applicazioni militari. L'ho spiegato a Zeldovich che si è inferocito, mi ha portato nei laboratori dell'IKI dove c'erano molti

francesi con tutti i computer più avanzati, mi ha fatto vedere tutto quello che facevano, come le tecnologie per conservare l'³He nello spazio, che in effetti erano tecnologie segrete; Zeldovich era talmente arrabbiato che mi faceva vedere tutto. Gli americani non erano ancora riusciti a farlo. Se fossi stato una spia sarei stato felicissimo di venire a conoscenza di tutte quelle cose, purtroppo l'Italia non aveva la possibilità di gestire una cosa simile indipendentemente dagli altri. Questo è stato il primo passo. Come secondo passo abbiamo avviato delle ricerche su pallone. Il primo è stato ARGO, un piccolo telescopio montato su pallone. Abbiamo visto che le cose funzionavano e allora abbiamo fatto una proposta un po' pazzesca agli americani: «A noi servono circa dieci giorni di misure, perché altrimenti la sensibilità non sarebbe sufficiente». Se si lancia un pallone in Antartide, i venti circolano – infatti sono gli stessi che producono il buco nella fascia di ozono – l'oggetto gira e dopo una decina di giorni torna al punto di partenza. In realtà abbiamo avuto una grande fortuna perché dopo dieci giorni il pallone ha girato e si è riportato ad appena 20 chilometri di distanza dal punto da cui era partito. Una fortuna sfacciata. L'accordo è stato di questo tipo. Insieme con Paul Richards di Berkeley abbiamo presentato una proposta alla NASA, proposta che è stata accettata. A questo punto entrambi abbiamo detto: «È un esperimento estremamente impegnativo, bisogna lavorare ore e ore al giorno». Quindi abbiamo preso due giovani dei due laboratori, cioè Andrew Lang, che lavorava con Richards, e Paolo De Bernardis, che collaborava con me, e abbiamo affidato loro il compito di portare avanti l'esperimento. È stata certamente l'idea migliore che abbiamo avuto: lasciare tutto in mano a due persone che avevano energia, entusiasmo, intelligenza e capacità di portare avanti il tutto, cosa che hanno fatto splendidamente. Hanno fatto il volo di prova in America che ha funzionato benissimo. Avevamo un concorrente, *Top Hat*, con un esperimento fatto da Caltech, che voleva fare le stesse cose in Antartide. Lo abbiamo battuto sui tempi. Il nostro esperimento è stato fatto e quello di Caltech deve ancora volare. Qui c'è un'altra delle caratteristiche che dicevo in precedenza, e cioè il fatto che i giovani che lavorano qui sono estremamente preparati. Insieme a Paolo De Bernardis c'era Silvia Masi, attualmente sua moglie. Qui si lavora in coppia. Il giorno prima del volo è successo che il criostato – il recipiente che contiene tutto lo strumento – aveva un buco. Sembrava che si dovesse bloccare tutto e rimandare all'anno seguente. Lei ha smontato tutto nel corso della notte, ha risaldato tutte le giunture che avevano dei problemi, ha chiuso, ha fatto il test e la mattina era tutto pronto per volare. Gli americani erano sconvolti. Andrew

Lang ha detto che lì era un altro mondo, hanno le tecnologie ma noi abbiamo delle persone che, pur non lavorando nel campo specifico della criogenia, devono essere in grado di fare le saldature ad arco e smontare un oggetto, oltre a un *exploit* fisico considerevole se si pensa che questo oggetto era montato a 8 metri di altezza. Questo episodio ci ha fatto apprezzare molto dagli americani, che da allora quando è tutto pronto, ci chiamano per vedere se è tutto in ordine prima dei voli. La collaborazione continua. Se danno qualcosa in mano a uno del nostro gruppo costui è in grado di farlo funzionare dalla *a* alla *z*. Non c'è nessuno di noi che si occupi specificamente di una cosa o l'altra. Certo c'è stata una componente di fortuna: il fatto che tutto funzionasse dopo una notte così drammatica, e il ritorno dopo dieci giorni al punto di partenza. È stato un esperimento molto bello, e certamente i risultati resteranno nei libri di storia: è stata provata al di là di ogni dubbio la teoria dell'inflazione, cioè una teoria cosmologica precisa che è connessa alla fisica delle particelle e quindi apre tutto un campo nuovo. Il merito di questo notevole risultato scientifico va al cento per cento a Paolo De Bernardis che si è impegnato e ha diretto tutto, insieme ai suoi collaboratori. L'astrofisica e la cosmologia non hanno mai avuto l'Italia come paese che domina la scena. In questo esperimento è accaduto il contrario. Ho una lettera di Andrew Lang, che dice: «Nessuno credeva che questo esperimento avrebbe potuto funzionare, e voi ci siete riusciti». È un riconoscimento completo del contributo italiano, è un bel risultato. Con esso l'Italia ha recuperato quella posizione di prestigio nel campo della cosmologia che aveva acquisito negli anni 1970-80 e che aveva perduto a causa dell'incertezza di finanziamento e di collaborazioni internazionali da parte dell'ASI.

In qualche modo è un risultato che scaturisce direttamente dall'obiettivo ben preciso di creare un gruppo di ricerca e uno stile di lavoro.

Infatti sono molto soddisfatto di questo. Penso che una delle poche cose di cui uno possa essere soddisfatto nella vita sia che il proprio lavoro non finisca nel nulla, che ci siano altri che continuano a lavorare. Qui ci sono varie linee e persone che stanno lavorando.

Immagino che nel corso della sua attività lei abbia conosciuto parecchia gente interessante.

Ho avuto contatti ripetuti con Arno Penzias, che ha avuto il premio Nobel per aver scoperto la radiazione di fondo cosmico. È in-

credibile come le persone abbiano tutte una storia dietro. Una sera Penzias mi ha confessato il suo dramma. Lui e Robert Wilson erano due giovani che avevano appena finito il dottorato. Erano andati alla Bell Telephone per studiare un'antenna usata per le telecomunicazioni via satellite. Nel fare le misure avevano trovato che c'era un rumore radioelettrico che non riuscivano a eliminare in nessun modo. Gradualmente emerse che non era prodotto dalla superficie terrestre né da qualunque sorgente celeste localizzabile. A un certo punto si sono rivolti a Robert Dicke, una persona stranissima, che ha fatto una serie di scoperte straordinarie. C'è la teoria di Brans e Dicke, una teoria estrema che modifica la relatività generale; poi c'è il *Lock-In*, uno strumento elettronico costruito da Dicke, dalla Princeton Instruments, un'industria messa su da lui stesso che ha fatto i miliardi. È un individuo che spazia dall'elettronica applicata alla relatività generale, ma si è condannato con le sue stesse mani sviluppando una serie di armi, bombe laser e roba del genere, per cui il Nobel non gli viene dato. È una figura complessa. Penzias e Wilson avevano fatto le misure proprio con il *Lock-In* e quindi lo hanno chiamato perché lui era il costruttore. Lui disse che era la radiazione cosmica di fondo, proveniente dal *Big Bang*, prevista nel 1948 da R.A. Alpher e R.C. Herman. Loro lo invitarono a firmare il lavoro, ben sapendo che, visto che loro erano due ragazzini e lui era già famoso, sicuramente il Nobel andava a lui. Invece lui disse: «Pubblicate voi, poi io farò una nota in cui dico cosa può essere». E così andò. Infatti sull'«*Astrophysical Journal*» ci sono il lavoro di Penzias e Wilson e un altro lavoro, breve, di Dicke, che suggerisce che potrebbe trattarsi del fondo cosmico. A quel punto Penzias e Wilson sono stati assunti dalla Bell Telephone, che ha subito capito l'importanza della scoperta e del fatto che avere due premi Nobel era un bel titolo; e poi le cose sono andate proprio così. Ma Penzias continua a tormentarsi sull'ingiustizia derivante dal fatto che la decisione presa da Dicke nel giro di cinque minuti aveva mutato il corso delle cose. Penzias è poi diventato vicepresidente della Bell Telephone, della ITT, ha fatto il contratto con l'Olivetti, si è dato alla politica economica. Lui era certamente molto dotato, ha fatto anche delle misure molto precise; ma probabilmente il genio stava da un'altra parte.

La cosmologia è stata fino a un certo momento considerata una scienza vicino alla metafisica.

Già, quando ho cominciato la gente mi diceva di lasciar stare, che non era roba seria e in effetti, ancora all'inizio del suo famoso libro

Hermann Bondi dice: «Ci sono varie teorie, ma la scelta non può essere che estetica...».

E, d'altra parte, per un lungo periodo è stata una faccenda puramente teorica, quasi speculativa.

Sì, indubbiamente è stata per lungo tempo una questione teorica, ci si divertiva a fare dei modelli. Ma la sorpresa è venuta fuori quando ci si è resi conto che quei modelli descrivevano veramente l'universo, quando le prime misure hanno dimostrato che il modello, un modello banale, semplicissimo, funzionava. La svolta è dovuta essenzialmente a George Gamow. Gamow è stato quello che ha cominciato a intuire che si poteva mettere della fisica dentro il modello, per esempio la formazione degli elementi e il fatto che dappertutto l'idrogeno e l'elio si trovano con una certa abbondanza e quindi ci deve essere un'origine comune di queste cose.

Eppure ancora lo stesso Ernest Rutherford dichiarava apertamente di avere un profondo disprezzo per quelle che a lui apparivano come mere speculazioni.

Infatti si chiama cosmologia e non «cosmofisica», cioè «chiacchiere» intorno all'universo; suona vicina all'astrologia. Però ha avuto sicuramente un impulso notevolissimo dalle misure di Penzias e Wilson. La possibilità di studiare l'universo lontano ha risolto il problema. La luce dei più antichi oggetti dell'universo ha impiegato miliardi di anni per arrivare fino a noi; riusciamo a vedere il passato del nostro universo e quindi possiamo fare una teoria che può essere verificata a varie epoche; più si guarda lontano e più si vede il passato e allora le scelte cominciano a restringersi. Un conto è vedere l'universo oggi, ma se riesco a vedere com'era un miliardo di anni fa, dieci miliardi di anni fa, ho una sequenza che mi permette di sviluppare la teoria molto meglio. I teorici ora si stanno scatenando per cui si ha un'enorme varietà di modelli, di una fantasia estrema; ma il bello di queste misure è che limitano molto le possibilità fantastiche.

FERMI E LA FISICA DEL VUOTO

E come influisce tutto ciò sul collegamento creatosi abbastanza di recente tra astrofisica, origine dell'universo e teoria delle particelle elementari?

È in atto un cambiamento profondo, c'è qualcosa che viene messo in crisi in maniera drammatica sia dalle misure di *Boomerang* – che sono state confermate da un altro esperimento di Berkeley, *Maxima* – che dalle osservazioni delle *supernovae*. Le *supernovae* sono molto luminose e quindi si riesce a vedere molto lontano facendo delle misure per capire come l'universo si espande. Sia *Boomerang* che le *supernovae* ci dicono che, invece di esserci soltanto normale materia barionica e materia non barionica che interessa la fisica delle particelle elementari, c'è anche energia pura nel vuoto, cosa che la fisica delle particelle elementari non ha mai studiato più di tanto. Io ho una registrazione di un discorso di Fermi alla scuola di Varenna, che risale all'ultimo soggiorno di Fermi in Italia, nel 1954. I giornalisti lo intervistarono e gli chiesero: «Secondo lei quale sarà il futuro della fisica?»; ed è straordinario il fatto che lui abbia risposto: «Lo studio del vuoto». I giornalisti insistettero, chiedendogli cosa significava; e lui disse: «Lo studio del niente». Naturalmente sui giornali uscì: «Fermi dice che la fisica è finita e non c'è più nulla da studiare!». Lui invece voleva proprio indicare che il vuoto non è vuoto, ma c'è dentro dell'energia che deve essere studiata. Una previsione straordinaria che adesso si sta realizzando. Il contenuto maggiore, che «pesa» di più, non è né la materia, né le particelle «strane», ma questa energia del vuoto, quella che si chiama costante cosmologica, che è stata rivelata in maniera consistente da entrambi gli esperimenti, per cui è molto probabile che ci sia. Quindi si apre un campo nuovo, i fisici delle particelle dovranno occuparsi anche di questo.

GLI EUROPEI «BRILLANTI SECOND» DEGLI AMERICANI:
LA SUBORDINAZIONE DELL'ESA ALLA NASA

Qual è stata l'evoluzione della sua attività scientifica nel tempo e nel contesto delle ricerche effettuate dagli altri gruppi?

Per quanto riguarda l'attività scientifica nel campo della cosmologia sperimentale, si possono individuare tre momenti. Un primo periodo, che va dal '65 al '72 circa, durante il quale si trattava di con-

fermare la radiazione di fondo cosmico nell'interpretazione data da Gamow: effettivamente questa radiazione proviene da una grandissima distanza, da momenti nei quali l'universo si trovava in fasi primordiali, cioè era una «palla» di gas ionizzato. Infatti esistevano molte interpretazioni alternative: quando Penzias e Wilson hanno scoperto la radiazione di fondo cosmico, nel '65, era ben poca la gente che ci credeva, tant'è che loro hanno ricevuto il Nobel molto più tardi, intorno al '76-'77, dieci anni dopo. Il problema era, quindi, di verificare se la radiazione aveva effettivamente lo spettro predetto, lo spettro di corpo nero. Ci sono stati vari gruppi di ricerca, che si sono messi a studiare l'argomento. Bruno Rossi era stata la persona che mi aveva suggerito di dedicarmi a quello studio. In Europa c'erano il nostro piccolo gruppo a Firenze e al Queen Mary College (Londra) un altro piccolo gruppo diretto da Derek Martin, un professore di fisica che si era occupato fondamentalmente di fisica dello stato solido e di argomenti generali come la misura della costante di Boltzmann. C'era anche in Francia un piccolo gruppo guidato da G. Chanin, un fisico estremamente brillante che pochi anni dopo è morto di un tumore. L'attività si è quindi bloccata in Francia, dove avrebbe potuto avere ottimi sviluppi. Negli Stati Uniti c'erano diversi gruppi che cominciavano a lavorare, tra i quali il gruppo di Paul Richards a Berkeley, il gruppo di Reinhart Weiss al MIT. Tutti questi gruppi lavoravano per cercare di verificare se la radiazione, che era stata misurata nelle grandi lunghezze d'onda - sul campo radio - aveva effettivamente un massimo di intensità intorno al millimetro e poi scendeva giù. In questa gara siamo arrivati tra i primi, riuscendo a misurare la radiazione proprio a un millimetro, dalla stazione alpina della Testa Grigia, che era stata messa su tanti anni prima per studiare i raggi cosmici. Questo è stato il primo passo, che ci ha fatto conoscere all'estero e messo in contatto con i gruppi americani. Il gruppo inglese ha eseguito delle misure su pallone che sono state fortemente criticate dagli americani perché registravano segnali atmosferici con un livello molto diverso da quello aspettato e quindi quelle misure sono rimaste isolate. Un risultato di questo primo periodo, che purtroppo non ha poi portato a un'effettiva concretizzazione, è stato un tentativo di collaborazione tra i gruppi europei - tra noi, i francesi e gli inglesi - con una proposta che venne fatta all'ESA per CIRBS, un satellite che avrebbe dovuto essere del tipo pre-COBE. Gli americani hanno poi sviluppato il satellite COBE, che ha dato grandi risultati, ma che era in realtà la riproduzione del progetto europeo CIRBS, che doveva misurare lo spettro e l'anisotropia della radiazione del fondo. In questo senso l'ESA ha perso

una grande opportunità. È stata presentata la proposta, ma probabilmente, dato che gli americani volevano fare una cosa analoga, l'ESA ha detto che i tempi non erano maturi – la radiazione di fondo cosmico non si sapeva bene che cosa fosse –, quindi ha rinunciato a realizzare quel satellite che aveva le stesse caratteristiche di COBE, che ha volato dopo. In particolare lo spettrometro che doveva misurare la radiazione di fondo cosmico, progettato da Derek Martin, è stato letteralmente copiato dagli americani e con quello è stata misurata con grande precisione la radiazione di fondo cosmico. L'ESA è rimasta indietro, il che è un fatto abbastanza normale; quasi sempre non se la sente di fare il primo passo e preferisce che sia la NASA a farlo; dopo di che si perde la priorità della scoperta e ci si limita a fare degli esperimenti che confermano o ampliano i risultati americani.

I PRINCIPALI OBIETTIVI PERSEGUITI NEL CAMPO DELLA COSMOLOGIA
SPERIMENTALE: LA RADIAZIONE DI FONDO COSMICO,
L'ANISOTROPIA DI DIPOLO, L'ANISOTROPIA A PICCOLA SCALA

Vorrei approfondire la natura della ricerca sull'anisotropia di dipolo, che all'epoca aveva un significato profondamente innovativo.

Sì, il secondo passo della mia attività ha riguardato un argomento che ho solo accennato in precedenza, la cosiddetta anisotropia di dipolo. La terra e il sole si muovono rispetto alla materia che ha per l'ultima volta interagito con la radiazione di fondo cosmico e quindi è possibile in qualche modo misurare il moto «assoluto» del sole e del sistema solare rispetto alla materia lontana. I primi tentativi in questa direzione riguardavano l'osservazione di una piccola variazione di temperatura – un eccesso di temperatura nella direzione del moto e un difetto nella direzione opposta – ed erano stati fatti dagli americani, dal gruppo di D.T. Wilkinson, però senza alcun risultato: il rumore di fondo dello strumento era tale per cui non si riusciva a decidere se effettivamente c'era o no quell'effetto. Quando noi abbiamo proposto di fare quelle misure – avevamo proposto di farle su aereo – gli americani, abbastanza ironicamente, hanno detto: «Rivolgetevi al papa». L'Italia in quell'epoca aveva regalato al pontefice un aereo per i viaggi e quindi i nostri colleghi americani suggerivano di utilizzare quell'aereo per le nostre misure, visto che stavamo cercando di vedere se la Terra e quindi il sistema solare sono fermi o si muovono rispetto all'universo. Era una battuta abbastan-

za cattiva da parte della NASA. Per aggirare questo atteggiamento negativo noi abbiamo presentato alla NASA una proposta di misura della temperatura del sole nel lontano infrarosso, utilizzando un aereo che volava ad alta quota. Tutto questo senza menzionare la radiazione di fondo cosmico. La proposta è stata accettata. Ci sono state lunghe discussioni. Dovevamo fare una quindicina di voli e alcuni di questi dovevano essere di calibrazione. Noi avevamo chiesto quindici voli notturni e, naturalmente, fare quindici voli di notte per misurare il sole appariva abbastanza incoerente. Per fortuna a quell'epoca alla NASA c'era un professore dell'Università di Washington, Ira Nolt, il quale aveva capito che noi volevamo misurare l'anisotropia di dipolo e, quindi, ci ha suggerito di fare una calibrazione con dieci voli notturni e cinque di giorno per misurare il sole. Quello è stato il primo passo per misurare l'effetto, che alla fine abbiamo misurato sia da aereo che da pallone. In questo senso possiamo dire di essere stati tra i primi, insieme al gruppo di Wilkinson, che ha fatto misure nel campo radio, grosso modo nella stessa epoca.

È stato un buon risultato, perché si è riusciti a vedere qual è il moto del sistema solare rispetto alla materia lontana e per la prima volta è stato possibile comprendere come si muovono gli oggetti nell'universo a grande scala. Difatti subito dopo è venuto fuori, con delle misure ottiche, che la nostra galassia è praticamente in quiete o quasi rispetto a masse vicine. Ma, se la nostra galassia si muove rispetto alla materia lontana, vuol dire che anche queste galassie si muovono: esistono dei movimenti a grande scala nell'Universo che prima non erano stati previsti.

Il terzo passo è stata la ricerca dell'anisotropia intrinseca del fondo cosmico. Una ricerca che si è evoluta nel tempo con alterne vicende. Siamo stati fortunati per il fatto che siamo stati i primi a vedere da pallone le anisotropie, sia pure in piccole regioni di cielo, prima del satellite americano COBE. Dall'altra siamo stati sfortunati perché eravamo pronti per fare la misura decisiva, ma quell'anno l'Agenzia Spaziale Italiana ha deciso di fare i lanci di pallone dall'Australia, invece che dall'emisfero nord, perché c'era un accordo in corso. Per noi era del tutto indifferente, ma le condizioni meteorologiche sono state pessime e quindi abbiamo perso un anno e in quell'anno COBE ha tirato fuori i risultati e ci ha battuto proprio per poco. Noi, però, avevamo accumulato tutta l'esperienza che ci ha consentito di realizzare l'esperimento *Boomerang* riportandoci di nuovo davanti agli altri gruppi. Abbiamo misurato l'anisotropia del fondo cosmico a scale angolari più piccole di quelle di COBE, dove effettivamente è più interessante fare le misure.

C'è stata quindi un'alternanza di tre periodi con tre differenti obiettivi: prima lo spettro, poi anisotropia di dipolo e poi l'anisotropia a piccola scala.

LA TECNOLOGIA E L'ESPERIENZA ACCUMULATA, STRUMENTO ESSENZIALE
DI COMPETITIVITÀ NELLA RICERCA SPERIMENTALE

L'impressione è quella di un itinerario fortemente orientato, che sfrutta al massimo l'esperienza accumulata nel corso delle ricerche precedenti, tenendo costantemente d'occhio le possibilità offerte dalle nuove tecnologie.

Esattamente, il nostro è un lavoro essenzialmente sperimentale e quindi, a mano a mano che la tecnologia migliorava nei vari settori, dai filtri, alla criogenia, ai rivelatori, noi abbiamo dovuto rinnovarci e cercare di stare sempre al limite dell'innovazione tecnologica, perché sono campi che diventano sempre più competitivi. Oggi esistono almeno una ventina di gruppi, nel mondo, che stanno lavorando su questo argomento ed essere competitivi significa avere lo strumento migliore degli altri. Apparentemente può sembrare che basti avere i rivelatori migliori per risolvere il problema; in realtà quando si fanno le misure non è solo questione di avere il rivelatore migliore, ma di eliminare, o almeno tenere sotto controllo, tutti i possibili effetti sistematici che vengono fuori quando si fa la misura. Quando arrivano da me i nuovi laureandi, io cerco di dare loro un certo tipo di sensazione: misurare l'anisotropia del fondo cosmico significa misurare una differenza di temperatura che corrisponde a un topolino che sta camminando sulla superficie della Luna. Questa è la difficoltà del problema. È chiaro che ci sono infinite possibili cause che possono simulare un effetto del genere. Per esempio, se si fa un esperimento da pallone stratosferico, la stratosfera non è perfettamente uniforme, omogenea, ci sono nubi di ozono che si muovono e che possono simulare un segnale. Allora uno deve essere pronto a fare un'analisi spettrale in modo da separare la nube di ozono da quella che è l'emissione del cielo. Poi c'è la nostra galassia che emette radiazioni, e non solo, c'è la Terra sotto: noi guardiamo in alto per vedere un segnale debolissimo e la radiazione che viene dal basso può essere in qualche modo riflessa, diffratta e andare, in piccolissima frazione — una parte su dieci milioni — dentro lo strumento. Se uno si muove e passa dalla terra al mare, che è un po' più freddo, si ha un segnale. Quindi bisogna essere in grado di capire come il

segnale viene fuori. Non è sufficiente mettere degli schermi, perché non si sa se gli schermi sono efficienti o no. Bisogna trovare un sistema per rimuovere lo schermo, vedere cosa succede quando il pallone ruota, e poi mettere lo schermo. Allora si capisce quanto è stato attenuato il segnale che dà fastidio. Esiste un numero grandissimo di effetti spuri, che si cominciano a comprendere a mano a mano che si lavora. Chi entra oggi nel campo, si trova a dover rifare tutta questa strada.

A PROPOSITO DEL DILEMMA: FISICA PURA O FISICA APPLICATA?

A quanto pare è essenziale aver fatto un cammino ben preciso per sapere come comportarsi quando si vuole osservare un certo tipo di fenomeno.

Certo, perché la ricerca non significa soltanto alta tecnologia; l'alta tecnologia è associata all'esperienza accumulata in anni e anni. Infatti i francesi, vedendo i risultati, hanno avuto interesse a rientrare nel campo e attualmente hanno ripreso a occuparsi di questi argomenti, che avevano abbandonato dopo la morte di G. Chanin negli anni '70. Hanno messo uno strumento su pallone e lo hanno fatto girare, facendo una misura. Questo tipo di cose noi le abbiamo già fatte negli anni '80 e sappiamo bene che si presentano una serie di problemi ben precisi. In particolare è sufficiente che la gondola sospesa al pallone non giri esattamente parallela all'orizzonte, perché l'atmosfera dia dei segnali. È esattamente quello che è successo. Loro hanno fatto il volo e hanno trovato dei disturbi. Si sono messi in contatto con noi e, naturalmente, siamo stati in grado di spiegare esattamente ciò che accadeva. Noi abbiamo fatto un certo numero di voli con palloni e sappiamo quello che succede, sappiamo come porre riparo agli inconvenienti che possono nascere. Quando il pallone sale su da Trapani, a luglio, si hanno a terra qualcosa come 40°C. Nel passare attraverso il minimo della temperatura, all'altezza di 10-15 chilometri, circa -50°C, si verifica un salto enorme nel giro di 30 minuti e, se non sono state prese le precauzioni adatte per l'elettronica o la meccanica, o l'una o l'altra si blocca. Questo è un problema abbastanza serio, per affrontare il quale bisogna avere un sistema di termalizzazione molto accurato capace di bilanciare le variazioni. Molto spesso uno specchio oscillante si blocca o l'elettronica non funziona. Esistono, quindi una serie di «trucchi», quelli che normalmente gli americani chiamano «cucina», che si imparano

no sul campo. Tra questi alcuni sono specifici, altri hanno le applicazioni più vaste e sono queste che interessano di più i giovani e li preparano poi a lavorare in altri campi. Se uno è intelligente e sveglio si accorge che una certa applicazione può valere in altri settori. Certi rivelatori, capaci di vedere delle variazioni di temperatura piccolissime, hanno applicazioni in campo medico per individuare la nascita di un tumore. Un'alterazione del genere produce una variazione di temperatura, e se sono capace di «verificare» qualcosa dell'ordine del milionesimo di grado, posso captare il malfunzionamento a livello della singola cellula che ha una temperatura diversa dalle altre. Una delle primissime applicazioni è stata quella fatta da un giovane, che dopo aver lavorato da noi è andato a lavorare per una ditta che si interessava di prevenzione di incendi nelle foreste. Alla fine la ditta ha ottenuto una grossa commessa per la Siberia, perché uno di questi sensori capaci di rivelare variazioni molto piccole di temperatura, posto su un palo molto alto e fatto ruotare, è in grado di segnalare l'inizio di un incendio a 100-200 chilometri di distanza. È possibile, quindi, tenere sotto controllo un'area immensa con un semplice rivelatore. Questo giovane ha avuto un'idea furba, partendo dall'anisotropia del fondo cosmico. La connessione che esiste tra applicazione e astrofisica è qualcosa di totalmente estraneo alla percezione della gente comune. La gente dice: «Voi studiate l'universo...»; invece esiste una connessione diretta, che appena c'è un po' di fantasia - e in questo gli italiani sono tipicamente creativi - può portare a realizzazioni pratiche, interessanti e utili.

Questo meccanismo si riproduce anche a livello teorico. È accaduto spesso di scoprire che equazioni nate per descrivere fenomeni specifici funzionavano benissimo anche per situazioni del tutto diverse.

Uno degli argomenti che è oggetto attualmente di ricerca, l'effetto Sunyaev-Zeldovich, è descritto da equazioni che prendono il nome da Kompaneets: uno studente di Zeldovich che non ha fatto in realtà assolutamente niente. A quell'epoca Zeldovich stava studiando, insieme a Lev Landau, le equazioni che governano l'emissione di gas ionizzati da un razzo. L'ex Unione Sovietica ha avuto per un certo periodo di tempo un forte vantaggio sugli Stati Uniti proprio perché Landau e Zeldovich hanno sviluppato questa analisi e hanno descritto come doveva essere fatta la cavità interna di un razzo per poter avere la massima efficienza nell'andare su. I razzi, che si chiamavano *Proton*, portavano su pesi enormi. Gli americani cercavano disperatamente di mettere dentro cose che pesassero meno possibile, men-

tre la capsula con la quale i primi astronauti sovietici hanno fatto i giri intorno alla Terra aveva addirittura le maniglie di ottone lavorate. Il vantaggio iniziale si è mutato in un grosso svantaggio, perché i russi non si sono poi curati della miniaturizzazione e quindi dello sviluppo di un'elettronica che pesasse poco e fosse molto efficiente. Così sono state le ricerche in questo senso fatte dagli americani, che hanno portato allo sviluppo dell'elettronica moderna, da cui gli altri sono rimasti tagliati fuori perché al momento non ne avevano bisogno.

Tornando alle nostre equazioni, è risultato che queste avevano una notevolissima applicazione nei cluster di galassie. Zeldovich mi ha raccontato che lui si trovava a lavorare in questo settore senza poter pubblicare il risultato, tenuto segreto perché riguardava l'applicazione su missili. D'altra parte lui stava nella commissione di «declassificazione», istituita per togliere il segreto alle informazioni che ormai erano ben note. Lui non poteva presentare a se stesso le equazioni che aveva trovato perciò ha chiesto a un giovane studente di presentarle lui. Quindi da un'applicazione come quella di un missile si è arrivati a qualcosa di lontanissimo come l'interpretazione astrofisica dell'interazione del fondo cosmico con i gas caldi di un ammasso di galassie. Basta avere un atteggiamento aperto per poter collegare le cose tra di loro. E l'aspetto più divertente, se vogliamo, della fisica è proprio quello di vedere l'unità delle leggi che governano i fenomeni più disparati possibile.

A parte l'interesse individuale, da quali altre spinte scaturiscono le esigenze e le logiche della ricerca nel mondo contemporaneo?

Da Karl Popper in poi si è fatta strada l'idea che non esiste una legge della scoperta scientifica, altrimenti avremmo già scoperto tutto. A questo proposito esiste un esempio famoso, portato da Zeldovich, il quale osservava che Enrico Fermi, quando si è laureato, voleva fare un po' di soldi. È andato dalla Magneti Marelli e ha cominciato a lavorare su come migliorare l'efficienza delle dinamo per caricare le batterie, e ha fatto dei brevetti. Allora la domanda è: immaginiamo che Enrico Fermi avesse continuato a lavorare lì; avrebbe continuato a fare brevetti, ma certo non avrebbe scoperto l'energia nucleare perché non c'era nessuna connessione fra quest'ultima e quello che faceva. D'altra parte, il lavoro fatto con gli esperimenti che studiavano l'assorbimento dei neutroni, che all'epoca non avevano alcuna connessione con la produzione di energia nucleare, alla fine ha portato allo sviluppo dell'energia nucleare, nel bene e nel male. Un settore che non si sarebbe sviluppato se Fermi

non avesse abbandonato la ricerca applicata per dedicarsi alla ricerca teorica, nel senso che gli esperimenti non avevano alcuna applicazione evidente. Non esiste, quindi, alcuna regola da seguire per risolvere un certo problema. Se ci si pone il problema di come ottenere la maggior quantità di energia con lo sforzo minimo possibile, cioè qual è l'energia pulita, è un tipo di quesito che probabilmente non sarà risolto da coloro che fanno ricerche con questo obiettivo. Se si vuole trovare una nuova idea non si può dire a priori in quale direzione si deve lavorare. Magari un biologo potrebbe trovare un meccanismo biologico per produrre molta più energia di quella che si può produrre con l'energia nucleare. Questo è, in un certo senso, il limite della ricerca, il non avere un'indicazione precisa, ed è una cosa difficilissima da far capire, soprattutto ai politici. Ricordo che, all'epoca di Nixon, i colleghi americani che lavoravano in campo astrofisico avevano una rabbia terribile perché Nixon leggeva la rivista «Popular Mechanics», un giornale molto diffuso, nella quale ogni tanto c'erano delle fanfaronate e questo poteva influenzare il suo giudizio e giustificare una spesa enorme su questioni di nessun peso. Convincere un politico che si devono spendere soldi su una ricerca, che a priori può apparire del tutto aleatoria, invece di fare della ricerca applicata per risolvere problemi specifici, come quello dell'ambiente, è un'impresa ardua. Per esempio, ci si chiede come smaltire i rifiuti e si parte da metodi che già esistono, cercando di approfondirli. Così non si troverà mai un'idea nuova, una soluzione originale che magari riesca a risolvere il problema alla radice.

In un paese è necessario che ci sia un bilancio tra la fisica applicata e la fisica cosiddetta pura. Se si abbandona la ricerca pura non si ha più una fonte di idee, si corre dietro alle piccole soluzioni che qualche volta funzionano, ma altre volte non ci portano a nulla.

QUELLA CHE GLI ANGLOSASSONI CHIAMANO «SERENDIPITY»

D'altra parte la storia ci insegna che, in generale, le grandi idee vengono fuori cambiando radicalmente il punto di vista.

Sì, è proprio questo il punto. C'è un enorme sforzo da parte dei filosofi per cercare di riuscire a capire cosa significhi tutto questo. Perché mai uno debba cercare a caso per ottenere dei risultati pratici e non cercare specificamente di riuscire a risolvere il problema in questione. Certo io vedo che spesso, molto spesso, scoperte che hanno implicazioni pratiche enormi vengono da campi completamente

diversi, dai quali uno non si aspettava nulla di pratico. La superconduttività a temperatura elevata, la possibilità di utilizzare tutte le tecniche della superconduttività a temperature vicine alla temperatura ambiente, non era prevedibile. Un laboratorio tedesco si è messo a studiare delle ceramiche che mostravano effetti strani, sembrava qualcosa di lontanissimo dal problema. Invece poi è risultato che si trattava di una nuova classe di materiali superconduttori.

In effetti non è un caso che Karl Müller e Johannes Bednorz - che nel 1987 hanno avuto il premio Nobel per la scoperta della superconduttività ad «alte» temperature - hanno ottenuto le prime prove di conduttività e di assenza di resistenza all'insaputa di tutti, anche dei dirigenti del laboratorio di Rüsçhlikon. Se ne occupavano a tempo perso. E d'altra parte Rüsçhlikon è un laboratorio finanziato dall'IBM per consentire anche di fare ricerca senza pressioni e senza scopi applicativi immediati e da lì è uscito anche il Nobel a Gerd Binnig, per aver ideato lo Scanner Tunneling Microscope.

A questo proposito posso citare un esempio pratico, qualcosa che mi ha assolutamente sbalordito. Quando, all'inizio, abbiamo cominciato a studiare il solfuro di cadmio, che è un rivelatore di particelle per il vento solare, per cercare di capire come funzionasse questo rivelatore, gli abbiamo messo un campo elettrico vicino, che permetteva di vedere come si muovevano le cariche. Il solfuro è praticamente un isolante, per cui quando si applicava il campo elettrico il rivelatore non funzionava più. Noi abbiamo studiato per un po' questo effetto. Nello stesso periodo di tempo c'era Walter Schottky che invece del solfuro di cadmio ha usato il germanio, e gli ha messo un elettrodo vicino. Esattamente le cose che abbiamo fatto noi. Però, siccome il germanio è un conduttore, è venuto fuori il transistor a effetto di campo, quello che normalmente si usa. Così, siccome noi abbiamo scelto il solfuro di cadmio non abbiamo scoperto il transistor e non siamo diventati miliardari, ma come si fa a dire in partenza: «Devi trovare il transistor»? È talmente legato a eventi casuali. Certo uno deve avere l'intelligenza di capire cosa sta succedendo; però ci sono una serie di fenomeni contingenti che fanno sì che la ricerca sia legata a una serie di componenti casuali. Questo significa che è necessario aprirsi e andare in tutte le direzioni possibili. Questo è quello che avviene in molti paesi, che investono e hanno quindi una ricaduta. Noi non investiamo molto e le ricadute sono poche. Il ciclo si chiude al contrario. Dato che le ricadute sono poche, si dice: «Perché devo investire?». Si va totalmente in un'altra direzione.

LA TRADIZIONE SPERIMENTALE ROMANA
E L'ATTUALE SCUOLA TEORICA

In che senso si sente in qualche modo erede di uno stile di ricerca, di una certa tradizione che è molto forte, soprattutto qui a Roma, dove lei ha studiato?

In effetti c'è un aspetto, in un certo senso ancestrale, che riguarda la mia esperienza personale. Mia madre ha studiato con Rasetti. Rasetti è poi diventato un grande fisico e in seguito si è rifiutato di sviluppare l'attività nucleare. La sorella di mia madre ha studiato matematica e stava nella stessa classe di Fermi. Lei raccontava di essere stata più brava di Fermi, quando entrambi hanno fatto l'esame per essere ammessi alla Normale di Pisa, e che hanno scelto lui perché era un maschio. È una storia divertente. Lei poi ha fatto la professoressa di matematica al liceo, ma è rimasta convinta di questo. L'eredità che ha lasciato Fermi è stata quella di un certo numero di fisici sperimentali. C'è stato tutto un gruppo di cui, per esempio, faceva parte Marcello Conversi, che era un fisico sperimentale molto bravo. Esisteva, quindi, questa tradizione di guardare gli aspetti sperimentali oltre che gli aspetti teorici. Tra il Settecento e l'Ottocento c'era stata la divisione tra fisica teorica e fisica sperimentale. Ampère sosteneva che le equazioni erano tutto, mentre Faraday diceva che non c'era bisogno delle equazioni, bastava prendere i fenomeni fisici, decomporli in fenomeni più semplici e alla fine si arrivava a degli effetti, dei fenomeni elementari che erano alla base di tutto. Ma, per dare un'idea di quello che era l'influsso sperimentale qui a Roma, posso ricordare che al momento dell'esame finale, prima di ricevere la laurea, bisognava superare un esame di cultura generale in cui si doveva descrivere un effetto. L'idea della fisica ricondotta a effetti era molto sentita qui a Roma. Addirittura in biblioteca esiste ancora il «libro degli effetti», nel quale si trovano descritti gli effetti più strani, che la gente utilizzava per superare quell'esame. Questo atteggiamento tipicamente alla Faraday, cioè di cercare di guardare alla realtà fisica, era molto forte. Nel tempo si è andato attenuando, perché la scuola romana per necessità pratiche, per mancanza di fondi, è diventata sempre più una scuola teorica. È vero che Fermi aveva la cattedra di Fisica Teorica, ma Fermi faceva anche gli esperimenti da solo. Aveva un tornio con il quale lavorava. Quando sono venuto qui, c'era ancora il suo tornio e c'era il tecnico che aveva lavorato con Fermi e a cui Fermi, quando prese il Nobel, aveva mandato un assegno, che lui aveva incorniciato. Fermi era un fisico che

combinava perfettamente gli aspetti teorici e sperimentali, ma era molto legato all'esperimento. Oggi il quadro a Roma è cambiato. Attualmente esiste un ambiente teorico molto ben organizzato, che è riconosciuto a livello internazionale. Gli aspetti sperimentali sono diminuiti perché la ricerca sperimentale costa. La ragione pratica è la mancanza di fondi. Oggi la strumentazione è enormemente costosa e noi non abbiamo più alcuna ditta che si occupa di questo tipo di strumentazione. Pochi anni fa, quando c'erano ancora le valvole, esistevano delle ditte italiane che le producevano. Adesso non c'è più nessuno che produca transistor, strumenti di qualsiasi genere. Se devo comprare un oscilloscopio, o strumenti elettronici banali, devo rivolgermi fuori e questo significa che noi paghiamo delle cifre altissime. Nulla quanto l'elettronica per la ricerca è aumentato di costo in maniera strana, nel senso che noi paghiamo prezzi più alti che nei paesi dove si produce, indipendentemente dalla dogana. Ricevo ogni tanto lettere di italiani residenti in USA che si offrono di acquistare per nostro conto; ma la burocrazia non ci consente di farlo. Questo è un problema serio, che andando avanti verso la tecnologia avanzata crea delle limitazioni, implica che certe cose si possono fare e altre no. La ricerca sperimentale è cominciata a diminuire. In questo dipartimento gli sperimentali si contano sulla punta delle dita, mentre ci sono tantissimi teorici.

Lei sente di continuare su una linea legata in qualche modo alla tradizione?

Sì, laddove è possibile si cerca di continuare a lavorare in quella direzione. Inoltre è uno dei pochi campi in cui è possibile ottenere dei risultati senza bisogno di quelle grossissime collaborazioni che sono tipiche delle particelle elementari. Il lavoro con cui Carlo Rubbia ha preso il Nobel aveva dietro un gruppo di più di 150 persone. Un acceleratore di particelle funziona in quel modo. Lì si perde un po' il contatto fra le persone, ciascuno si occupa di aspetti molto specifici e finisce per non sapere nulla di quello che fanno gli altri.

Certo la natura del lavoro di ricerca è completamente diversa e in questo senso sembra che l'astrofisica possa costituire una grossa alternativa, soprattutto per i giovani che vogliono lavorare nella ricerca di punta. I costi della big science oltretutto diventano sempre più faraonici e questo definisce in modo diverso le possibilità e la qualità del lavoro; senza dimenticare che il settore sta attraversando un momento terribilmente critico in generale.

In effetti, in base a questo punto di vista, bisogna tenere presenti due aspetti. Ci sono alcuni che amano lavorare in gruppo, in grossi gruppi, per cui desiderano avere un argomento ben definito, sapere quello che devono fare, e avere un riconoscimento per il loro lavoro all'interno del gruppo. Ci sono altre persone, e in genere questo è più caratteristico degli italiani, che hanno un atteggiamento creativo e quindi vogliono mettere becco dappertutto. Allora è chiaro che il primo tipo di individuo si orienta verso la *big science*: vanno al CERN, di notte aspettano il segnale, prendono la foto ecc. La sequenza è ben definita, il gruppo è definito. Altri invece si divertono moltissimo ad affrontare gli argomenti uno per uno. In questo altro caso le possibilità sono più limitate, ma in astrofisica, almeno in alcuni settori, si offre l'occasione di poter sviluppare un esperimento da zero e quindi vedere tutti gli aspetti, positivi e negativi; e di poter realizzare degli strumenti, che non si trovano in commercio. Molti giovani che lavorano in questo settore spaziano dall'elettronica, all'ottica, alla criogenia e gradualmente apprendono tutte le tecniche. Non perché si mettono a studiarle, ma perché servono e le acquisiscono attraverso il lavoro, di conseguenza si impadroniscono di una serie di tecnologie. Oggi, per esempio, progettare uno strumento per fare immagini del fondo cosmico, significa lavorare con ottica fisica. Ci sono dei grossi programmi per calcolatore che servono a questo, come CODE V, un programma che ben pochi in fisica hanno mai utilizzato. L'ottica, a parte i laser, è morta da tanto tempo. Dai tempi di Galileo l'Italia produceva microscopi e telescopi. I giovani, che entrano in contatto con l'industria dopo aver acquisito queste conoscenze, sono in grado di far realizzare delle cose qui in Italia; è un modo per recuperare conoscenze che stavano andando perse. Lo spazio di manovra è certamente piccolo, perché abbiamo poche possibilità finanziarie. Il programma in oggetto, per esempio, costa circa 40 milioni.

Anche se con difficoltà sembra che in qualche modo fino a ora sia stato possibile ricavare qualche nicchia.

Quello che succede, infatti, è che sono diventate veramente delle nicchie. A Milano c'è Giorgio Sironi, che ha un piccolo laboratorio e che si occupa dei ricevitori radio. Io considero una tragedia nazionale quella di aver abbandonato completamente lo studio dei sistemi radio. Nessuno insegna le tecniche radio e questo in parte è dovuto a un atteggiamento folle, che condanna Marconi perché a un certo momento ha dato un parere favorevole al fascismo. Un setto-

re, in cui l'Italia era all'avanguardia - all'epoca di Marconi erano nate delle ditte -, ora è totalmente trascurato, a parte questo piccolo gruppo di Milano che fa un ottimo lavoro per il quale è apprezzato negli Stati Uniti. Ma sono nicchie, appunto, il dramma è proprio questo in Italia. A questo punto la speranza è di creare un gruppo di giovani che possa continuare a lavorare in queste attività. In Germania c'è molta più possibilità di lavoro. Noi collaboriamo con il Max Planck di Bonn, dove attualmente c'è il gruppo di Ernst Kreysa. Appena un giovane si laurea con lui viene inserito immediatamente nell'industria, perché là c'è un desiderio di innovare. Un po' meno ce n'è in Francia. La speranza è che entrando in Europa si possa far parte di questo giro.

UN RUOLO DA DEFINIRE MEGLIO: QUELLO DELL'ASI, QUELLO DEL CNR
E QUELLO DELL'INFN E DELL'INAF

A proposito di Europa lei ha accennato al fatto che esistono dei meccanismi per i quali l'ESA opera sempre in subordine rispetto alla NASA.

Questo accade a causa di un meccanismo di base. All'ESA ci sono delle commissioni *ad hoc* per ciascun settore - per l'astrofisica, per le risorse terrestri, e così via - e di queste commissioni fanno parte gruppi di scienziati che dovrebbero rappresentare gli interessi dei singoli paesi. Queste persone a loro volta hanno delle connessioni molto forti con la ricerca negli Stati Uniti. Un bravissimo fisico che abbia lavorato molto negli Stati Uniti resta legato a quel paese e a quell'attività di ricerca. Gli Stati Uniti hanno operato in maniera molto oculata per agganciare e supportare persone chiave, che contemporaneamente stanno dentro l'ESA. Il meccanismo è semplice. Se una persona è brava, la sua attività di ricerca può essere valutata più o meno a seconda della risonanza che le viene data. Se negli Stati Uniti viene data una grande risonanza a una persona, quella persona comincia a fare carriera e si sente strettamente legata a chi le ha dato quella risonanza e si crea una situazione di dipendenza. C'è un vizio di origine. La dipendenza è tanto più forte quanto più la persona vive in un paese con livello tecnologico basso e quindi quello che ha fatto può non essere così rilevante, ma aver avuto una forte risonanza. Questa tecnica è stata applicata dappertutto, anche in Asia e in Africa, dove si cerca di mettere nei posti chiave le persone che sono più legate alle attività di interesse USA. Questa situazione fa sì che

in pratica vengono fuori proposte del tipo: «Perché dobbiamo inventare dei progetti? Ce ne sono tanti, presentati dalla NASA, che ne sceglie alcuni e altri li scarta perché non ci sono i soldi. Realizziamo questi». È chiaro che questo è un atteggiamento di totale sottomissione, poiché facciamo quello che gli americani considerano di seconda o terza scelta. Si è quindi arrivati a un *gentleman's agreement* per il quale prima avviene l'esperimento base fondamentale condotto dalla NASA, magari in collaborazione con l'ESA, visto che gli americani sono molto aperti e non hanno un atteggiamento di tipo nazionalistico; dopo viene, in seconda battuta, il lavoro dell'ESA. Anche adesso, per l'anisotropia del fondo cosmico, c'è un esperimento che si chiama MAP fatto da Princeton e altri gruppi americani che dovrà volare entro quest'anno; fra sei-sette anni ci sarà il satellite europeo Planck Surveyor. Il secondo esperimento raffinerà i risultati, ma il lavoro sostanziale sarà quello fatto da MAP.

Nell'ambito di questo discorso, che senso ha un'Agenzia Spaziale Italiana?

Il senso sta principalmente nelle applicazioni tecniche, come per esempio le trasmissioni da satellite. Sono coperture tecniche che devono essere gestite da qualcuno, che deve decidere quanti satelliti mandare ecc. Per quanto riguarda le risorse terrestri bisognerebbe fare uno sforzo. Attualmente ci troviamo in questa situazione: se vogliamo sapere qual è la situazione degli alberi nella pianura padana, noi siamo costretti a rivolgerci al satellite americano e a pagare 50.000-100.000 dollari per avere i dati. Se poi c'è una loro base, che non vogliono far conoscere, nemmeno ci danno i dati. È una situazione sgradevole dalla quale bisognerebbe avere una qualche forma di indipendenza. I satelliti per le risorse terrestri sono bloccati per la parte infrarossa, perché ci sono implicazioni militari.

Dal punto di vista della ricerca scientifica sono molto in dubbio sui vantaggi di un'Agenzia Spaziale Italiana. Noi abbiamo un programma scientifico nazionale che qualche volta funziona pure. Il satellite BeppoSax ha fatto delle ottime misure, ma il tutto è terribilmente costoso. Per avere un'idea: a suo tempo è stato fatto uno schema per il quale un satellite giapponese costa sui 40 miliardi, un satellite americano intorno ai 100-150, un satellite italiano sui 1000. È un crescendo pauroso, che ci obbliga a domandarci che senso ha investire i soldi in queste tecnologie.

Quali sono i motivi di questa crescita vertiginosa dei costi?

Ci sono problemi di base. Difficilmente riusciamo a far costruire da una nostra industria i componenti da realizzare per i satelliti; siamo obbligati a rivolgerci all'estero. Questo è un notevole costo addizionale. Poi c'è tutta una serie di aspetti che riguardano i programmi spaziali su cui le nostre industrie sono impreparate. Ogni programma costa moltissimo anche perché bisogna trovare gli ingegneri e le persone con determinate competenze.

È abbastanza assurdo avere delle agenzie spaziali nazionali quando c'è l'Europa, ma la realtà è questa. C'è anche chi sa far funzionare l'Europa a proprio vantaggio. L'ESA lancia razzi Ariane, costruiti dall'industria francese, che ha fatto tutti i test, tutti i fallimenti a spese dell'ESA, non a spese nazionali. Adesso la Francia usa quei razzi per mettere in orbita satelliti americani, inglesi. Chiunque vuole un satellite al di fuori dell'ESA lo può fare con la Francia, ma quei razzi sono il risultato dell'uso di fondi europei. Loro hanno sviluppato a spese dell'Europa una tecnologia che permette loro di guadagnare parecchio: è un'ingiustizia. Non si riesce a risolvere questo conflitto continuo di interessi nazionali e interessi europei. Per il resto l'ASI ha passato dei periodi di confusione, discussioni ecc. Anche adesso non si sa come funziona, perché non c'è più un comitato scientifico: ufficialmente questo è scomparso e a decidere delle ricerche dovrebbe essere il rappresentante dell'industria, il che è completamente assurdo, perché in tal modo la decisione rimane legata alle possibilità o meno di introiti dell'industria. Poi in effetti le cose vanno un po' diversamente, perché di fatto viene chiesto un parere a coloro che prima stavano nel comitato scientifico. Bisogna, quindi, trovare una soluzione per l'ASI.

In fin dei conti il ruolo dell'ASI sembra poco definito.

Sì, in parte perché è un ruolo legato all'ESA. Se viene presentata una proposta all'ESA e questa viene approvata, l'ASI si trova nella condizione quasi inevitabile di finanziarla. C'è, quindi, un settore dell'ASI che si limita semplicemente a finanziare le proposte fatte all'ESA. Questa inutile forma di burocrazia è considerata da chi lavora con l'ESA uno dei problemi più drammatici, perché per avere i fondi passa tantissimo tempo e l'ESA vuole fare subito gli esperimenti; questa situazione crea un'ansia continua, perché i fondi non arrivano mai in tempo per partecipare agli esperimenti. Poi ci sono le ricerche per programmi italiani, e lì c'è una notevole confusione. Nel caso del nostro esperimento, *Boomerang*, è vero che l'ASI ha stanziato dei fondi, ma è vero anche che nel momento critico chi ha

veramente avuto un ruolo determinante è stato il rettore, Giorgio Tecce. Nonostante a Roma sia stato criticato devo dargli atto che, nel momento in cui noi siamo rimasti senza fondi e gli americani ci dicevano di uscire dalla collaborazione - ci servivano 100 milioni per fare un determinato pezzo -, io ho deciso di andare da lui a esporre la situazione, lui ha convocato il consiglio di amministrazione dell'Università e sono stati stanziati 100 milioni nel giro di una settimana. È certamente un atto di intelligenza da parte di Tecce l'aver capito che in quel momento critico l'ASI era evanescente e che occorreva prendersi la responsabilità. In quei momenti non si sa nemmeno a chi rivolgersi: ti viene detto magari che i soldi ci sono ma non è stato firmato il decreto, il presidente dice di non averlo avuto, ci si trova davanti un muro di gomma. Tutto ciò di fronte alla realtà che è necessario concludere un esperimento in tempo. Io so in maniera non ufficiale che mi è stata assegnata una somma di 120 milioni per una domanda fatta due anni fa, ma i soldi non sono mai arrivati e al mio sollecito mi è stato risposto che è in atto un cambio di sede e quindi «lei capisce, la confusione...». Il risultato è che i soldi per sviluppare un certo tipo di rivelatore, che deve far parte di un certo programma, non arrivano e dopo due anni si perde il ritmo di lavoro. Il vero dramma è che magari i soldi ci sono, ma la burocrazia prevede che il Dipartimento debba fare un contratto. Il direttore del Dipartimento firma subito, ma serve anche la firma del presidente dell'ASI, il contratto torna indietro, i soldi vengono poi depositati in una banca, il trasferimento comporta altre lungaggini. Mi arriva, l'anno dopo, la richiesta di rendiconto dei fondi, ma io non ne dispongo ancora e rischio che me li ritirino perché non li ho ancora utilizzati. L'ASI non ha risolto questi problemi; mentre il Ministero della Ricerca Scientifica, nel bene e nel male, lo ha fatto. Si fanno piani nazionali per due anni; le domande vengono mandate a un certo numero di *referee*, alcuni nazionali altri internazionali, sulla base delle risposte sommano i punti e dicono sì o no. Le ricerche, però, non durano due anni. Inoltre, non si può fare domanda per continuare una ricerca. Perciò ogni due anni o si cambia ricerca o si inventa un nome un po' diverso per poter continuare a fare quella ricerca. Se si sono ottenuti dei risultati non ha senso cambiare argomento. Queste incongruenze dipendono dalla sequenza burocratica. Ricordo che, quando Giorgio Salvini è stato per un certo tempo ministro, era furibondo perché lui aveva preparato il testo di una legge che quando è stata approvata era completamente diversa da quello che aveva detto lui. La burocrazia, ma anche i politici, erano intervenuti pesantemente.

In tutto questo il CNR oggi che tipo di funzione riesce ad avere nel promuovere la ricerca scientifica?

Il CNR è in un brutto momento perché non sa bene cosa fare, né come inquadrare i propri enti di ricerca. Adesso c'è stato uno sforzo del CNR per fare dei progetti in comune con l'università. Per esempio, c'è un piccolo gruppo che lavora in collaborazione con l'Istituto di Elettronica dello Stato Solido (IESS), ora confluito nell'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie (IFN), che ha questa strumentazione per fare rivelatori. Lo stiamo finanziando noi, nel senso che come università compriamo cose che poi mettiamo lì per andare avanti, perché loro non hanno una lira. È l'unico laboratorio, in Italia, che abbia la strumentazione adatta per fare un certo lavoro. Noi continuiamo a fare domande al CNR per avere i fondi, e loro rispondono che i soldi li danno all'università. È una situazione assurda: noi lavoriamo in collaborazione con un laboratorio del CNR; ma mentre noi otteniamo dal CNR dei soldi, il laboratorio non ha fondi per cui non potrebbe funzionare. Dobbiamo inventare trucchi per dare loro i soldi e farli andare avanti. È una situazione difficilissima: non si sa mai quanti fondi si avranno a disposizione e quando, cosa succederà fra un anno o due. Si va avanti anno per anno. Se dopo due anni non si ricevono i fondi che cosa si fa? Questo è molto pericoloso per i giovani: chi ha già un posto come me può fermarsi, cambiare ricerca, scrivere un libro; ma chi scrive una tesi di laurea e rimane bloccato dalla mancanza di fondi per continuare l'attività riceve un danno enorme.

Inoltre non c'è una logica dietro agli investimenti. Sembra che la logica sia di togliere all'università la ricerca, però non si capisce a chi dovrebbe andare. Al CNR? A degli istituti? C'è l'INFN, che ha funzionato bene; ora non funziona bene come prima, ma forse è il migliore fra tutti gli enti. Si può costruire qualcosa di analogo. Adesso c'è l'INAF, che però è nato essenzialmente per gli osservatori astronomici. Ma, se c'è qualcosa che in passato ha funzionato male, sono gli osservatori astronomici. Dare tutti i soldi agli osservatori significa far sparire l'attività di ricerca astrofisica nell'università, oppure che le università potrebbero finire per funzionare come unità distaccate di questo INAF.

L'unica cosa che si dovrebbe forse cercare di far comprendere alla gente è che è facilissimo distruggere l'attività di ricerca, basta non dare soldi per un paio di anni ed è finita. Ma poi ci vogliono anni e anni per ricostruirla. Ci vogliono anni e anni per riacquisire l'esperienza raggiunta dalle persone su un certo tema, quando viene inter-

rotta e dispersa per qualche motivo. Quello che sta avvenendo, quindi, è molto pericoloso.

Esistono delle ricerche a livello europeo, e in quel caso noi abbiamo insistito perché i fondi fossero devoluti essenzialmente al trasferimento di persone. È molto utile che la gente vada in altri laboratori a vedere cosa succede; ma quello che avviene è che tutti i nostri giovani vanno in altri laboratori, mentre da noi non viene quasi nessuno. Non si riesce a trovare gente disposta a venire a lavorare qui. Non c'è un reale scambio. La gente preferisce andare in Inghilterra, in Germania. Inoltre i nostri giovani, quando tornano, cosa trovano?

Si verifica, insomma, una specie di scollamento fra gli obiettivi perseguiti dai nostri rappresentanti nella Comunità europea, nell'ESA, e la realtà della ricerca, le necessità delle persone che veramente fanno ricerca. Sembra che loro rappresentino altre persone, il colloquio è difficile. Certo non bisogna drammatizzare, ma ci sarebbe da fare un grosso lavoro per modificare le cose.