

## Adalberto Giazotto(\*)

**Summary.** — Adalberto Giazotto nasce a Genova l'1 febbraio del 1940. Durante il periodo bellico vive a Cogne in Val d'Aosta, poi si trasferisce a Milano ed infine a Roma. Ha precocemente mostrato interesse per “il costruire”, in particolare cose riguardanti le comunicazioni, i trasmettitori, le radio. Svolge i primi studi a Milano e Roma e si iscrive a Fisica nell'Università di Roma, laureandosi nel 1964 con una tesi teorica seguita da Rosario Liotta. Benché il suo primo impegno lavorativo sia nel campo della fisica sperimentale, mostra sempre grande interesse per i problemi teorici, raggiungendo in questi un livello di approfondimento non comune per un giovane sperimentale. Collabora nel gruppo di Edoardo Amaldi e Gherardo Stoppini ad esperimenti di elettroproduzione ed allo studio dei fattori di forma dei mesoni. In conseguenza dei ben noti problemi sorti a Frascati negli anni '68 e seguenti, parte del gruppo si trasferisce in Inghilterra con le apparecchiature ed inizia una collaborazione con gli inglesi del laboratorio di Daresbury, eseguendo uno dei migliori esperimenti di elettroproduzione effettuati in quegli anni. Sono stati in particolare misurati il fattore di forma assiale del nucleone ed il fattore di forma del mesone  $\pi^+$ . Al termine di queste misure il gruppo partecipa agli esperimenti di Pisa NA1 e NA7 al CERN.

---

(\*) Registrazione effettuata a Pisa, 18 dicembre 2006.

Vengono misurati i fattori di forma nella regione space-like dei mesoni  $K$  e  $\pi$  e le vite medie di alcune particelle “charmate”. Nel periodo dal 1981 al 1984 Adalberto Giazotto ha dei gravi problemi di salute che ne limitano l’attività; nello stesso tempo si risvegliano i suoi precedenti interessi riguardanti la Relatività Generale e lentamente matura l’intenzione di effettuare esperimenti per la rivelazione delle onde gravitazionali in modo complementare a quello delle antenne a barra allora esistenti. L’interesse è quello di sviluppare una grande sensibilità su un largo spettro, visto che le sorgenti attese emettono preferibilmente a frequenze più basse di quelle esplorabili con i rivelatori a barra. Viene formato il nucleo di quello che sarà poi il gruppo VIRGO, iniziando gli studi per la riduzione attiva del rumore sismico. Vengono inventati e perfezionati i cosiddetti “superattenuatori”, adottati successivamente anche in altri esperimenti. Viene lanciato il progetto italo-francese per la realizzazione del grande interferometro VIRGO, progetto approvato nel 1993. È una delle più ambiziose, raffinate e promettenti imprese lanciate dall’INFN e realizzata con il contributo di un eccezionale gruppo di fisici e tecnici principalmente in ambito pisano. L’esperimento è ora in fase di presa dati e fa parte di un “network” fra diversi esperimenti, per una rivelazione coerente delle onde gravitazionali.

*Iniziamo da alcune informazioni di base: nato a Pisa?*

No a Genova.

*Da famiglia genovese, o era un caso che i genitori si trovassero a Genova?*

Era abbastanza un caso. Io sono nato in tempo di guerra per cui ho la percezione di alcune cose di tipo visivo, tipo il bombardamento di Genova; però non mi ricordo molto altro. Essendo nato il primo febbraio del '40 era proprio durante la guerra; come dicevo, non ricordo molto, so solo che mio padre e mia madre abitavano a Genova. Mio padre faceva il giornalista, credo che lavorasse al Secolo XIX. Era musicologo ed è lui quello che ha composto — sicuramente lo conosce — l’adagio per archi ed organo che va sotto il nome di Albinoni. Remo Giazotto ha scritto un gran numero di libri di ricerca su autori sconosciuti, tra cui Tommaso Albinoni; aveva trovato questo basso continuo di Albinoni sul quale ha composto tutta la melodia: l’adagio Giazotto-Albinoni quindi; ne prendo ancora i diritti d’autore! Ricordo molto bene il bombardamento di Genova e l’andare nei rifugi; i miei genitori mi hanno poi detto che questi rifugi erano i sotterranei della Banca Nazionale del Lavoro. Dopo non ricordo più niente; scappammo da Genova e con i miei genitori andammo a Cogne in Val d’Aosta.

*Come mai andaste lì? Avevate dei parenti?*

Noi abbiamo una casa lì. Dopo il trasferimento nella nostra casa di Cogne, i partigiani la occuparono e questo ci costrinse ad andarcene. I miei genitori erano molto amici di Angelo Costa, il papà di tutte le crociere Costa; la famiglia Costa, genovese, grandi armatori, aveva una casa a Cogne ed Angelo Costa ci chiese se potevamo andare a abitare a casa loro per evitare ruberie. Naturalmente dopo pochi giorni che eravamo

lì ci sono arrivati i nazisti in casa; avevamo quindi fatto una scelta sbagliata! Nessuno di noi è morto in quell'occasione, però ricordo ancora scene molto drammatiche.

*Che tipo di problemi sono nati all'arrivo dei nazisti?*

Beh, nacquero immediatamente! C'erano i nazisti perché Cogne era un covo di partigiani; ho dei ricordi "flash"; avevo 4 anni, ricordo case incendiate con i lanciafiamme; erano soldati austriaci, non tedeschi. Uno di questi mi voleva bene, mi dava caramelle perché aveva un figlio più o meno della mia età — questo me lo ha raccontato la mamma successivamente. Invece mi ricordo di uno che trattava malissimo, con la pistola in pugno, mia sorella e mia madre. Ricordo molto bene le partenze dei camion con i partigiani che andavano a minare i ponti. Eravamo amici di certi Elter ed uno dei loro figli, Giorgio, era partigiano e morì fucilato dai tedeschi perché aveva fatto saltare un ponte. A Cogne credo che esista un villaggio Elter, a ricordo di questo ragazzo. Finita la guerra, le ragazze dell'albergo, che stava davanti alla casa che abitavamo, furono tutte rapate; evidentemente avevano, in qualche modo, collaborato con i tedeschi.

*Tutta questa vita irregolare è andata avanti fino a quando esattamente?*

Fino a quando, finita la guerra, sono andato a stare in un posto vicino a Milano, di proprietà dei Melzi d'Eril; era una tenuta chiamata Monticelli, dove ho affinato il mio gusto per costruire le cose... Era piena campagna, c'erano i trattori, le galline, le oche; molto grande come posto. Con mio cugino, figlio della sorella di mia madre, vivemmo avventure divertentissime, come fanno tutti i bambini che si trovano in queste situazioni. Rimanemmo lì fino al '46; poi andammo a Milano — ricordo pochissimo di quel periodo — ed infine a Roma nel '50, l'anno del giubileo. Avevo iniziato le scuole elementari a Monticelli, vicino a Montebello della Battaglia. Ho continuato le scuole a Milano e Roma fino a frequentare il liceo scientifico dei Fratelli delle Scuole Cristiane.

*Come mai la scelta del liceo scientifico?*

Ho sempre avuto la passione per il "costruire"; avevo un grande amore per tutto ciò che era radio, trasmissione, possibilità di comunicare; costruivo trasmettitori e radio, questo fino verso ai 18 anni. Mi sono divertito moltissimo facendo queste cose, anzi ci guadagnavo anche, perché in parte le vendevo. A 19 anni, mi sembra, mi sono iscritto a fisica e ho abbandonato le costruzioni.

*È stata un po' una scelta naturale, ma fino a un certo punto; in quegli anni Fisica era una Facoltà che veniva vista come molto legata ad una carriera d'insegnamento.*

C'erano due persone con cui avevo parlato a lungo: Paolo Camiz e Marco Cassandro. Ci incontravamo perché tutti andavamo in vacanza a Cogne. Devo dire che mi hanno molto influenzato; erano un po' più vecchi di me e ricordo che facevo sempre domande... Li assillavo domandando: "Ma com'è... Come non è...?". Però chiaramente la mia testa era lì: l'idea di costruire cose strane... Questo era il concetto. Camiz e Cassandro hanno avuto una notevole influenza sulla mia scelta.

*A quell'epoca ha cominciato a fare delle letture?*

Non molto, perché ho cominciato a costruire le radio intorno ai 9 anni; avevo tutti libri che parlavano di radio e valvole. Ho studiato, ho imparato come funzionavano gli schemi; quello era un po' il tipo di cose che mi piaceva: elettrotecnica, radiotecnica, ricevitori, trasmettitori. Ho odiato la scuola; odiavo veramente la scuola in tutte le sue manifestazioni. La maturità l'ho fatta bene; ho avuto per caso una medaglia d'oro; ero stato bocciato un anno e poi ho fatto due anni in uno; questo per dire quanto amassi la scuola! Però, alla fine, volevo finire ed ho recuperato quell'anno e vinto la medaglia.

*Quindi l'iscrizione a Fisica è avvenuta con una certa consapevolezza. Come è stata presa dai genitori?*

Sì, sì. Molto bene, mio padre e mia madre erano persone estremamente aperte!

*Che tipo di stimoli pensa di avere avuto da loro?*

Molti a livello umano ed intellettuale. Per mio padre la musica era la cosa più importante: musica, musica, musica! Il canale della musica è divenuto estremamente importante anche per me; in particolare la musica pianistica — mio padre suonava molto bene il pianoforte — in questo sono stato sicuramente influenzato da papà. Però nessuno di loro era lontanamente in contatto con il mondo della fisica; la scelta di fisica è stata proprio una mia decisione, credo molto dettata dallo studiare il funzionamento di quelle cose complicate che, a quei tempi, erano le radio. È emerso il mio primo amore per la costruzione delle cose un po' strane.

*In che anno è approdato all'Università di Roma?*

Nel '59. Mi sono laureato nel '64.

*Chi teneva i corsi di Fisica Generale?*

Edoardo Amaldi. Il terrore nostro era il corso di "Fisichetta" di Francesco Bella e poi quello di Chimica di Vincenzo Caglioti; Chimica l'ho lasciata come ultimo esame. Invece corsi che ho seguito con grande facilità erano le Analisi I e II con Gaetano Fichera. Non ho mai sofferto più di tanto a fare gli esami, a studiare; mi ricordo di aver studiato con una persona molto molto brava; specialmente per Analisi I mi ha aiutato lui, Claudio Procesi, che sembrava avere la scienza infusa! Era un fisico del mio corso che poi è passato a Matematica; era veramente bravissimo. Vedevo spesso Sergio Doplicher con il quale ho cominciato a interessarmi anche ai problemi della fisica teorica. Ho cominciato a leggere libri un po' complicati tipo quello di Nishijima, libri che trattavano la teoria dei campi a livello assiomatico. Discutendo con Doplicher, io, fisico sperimentale, gli facevo domande per conoscere un po' meglio i metodi che usavano i teorici per trattare questi problemi complessi. Ricordo Giovanni Gallavotti, anche lui molto bravo e Massimo Cerdonio.

*Chi teneva i corsi di Fisica Teorica e Fisica Superiore?*

Ho seguito il corso di Fisica Teorica di Enrico Persico ed un altro corso svolto da Rosario Liotta. Io ho fatto la tesi con Liotta e mal me ne incolse! Rosario Liotta aveva inventato una teoria dei campi basata sui funzionali di stato; era una cosa estremamente complessa ed evidentemente non proprio fruttifera... Ho svolto una tesi su questo ed ho anche cominciato ad entrare un po' nel meccanismo di  $SU_3$ ; le masse, la catalogazione delle particelle; era il momento di Murray Gell-Mann. Ho studiato i libri di Heitler e di London sulla elettrodinamica quantistica. Con quella sconsiderata tesi di laurea ebbi un voto basso, tuttavia sopra al cento, avendo una media piuttosto alta. Quella tesi fu un disastro; mi era stata consigliata da Ezio Ferrari, allora un giovane teorico. Mi consigliò questa tesi con Rosario Liotta: "In questo momento è la cosa più avanzata che abbiamo in Istituto".

*Come mai una tesi in fisica teorica?*

Mi interessava molto ed inoltre volevo capire in profondità le cose. Ero affascinato dai problemi complessi; erano anche gli anni in cui si cominciava a capire qualcosa della fisica delle particelle... Molto su di giri, andai a parlare con Rosario Liotta: "Vorrei fare la tesi con lei...". Ne fu molto contento; poi ho anche fatto un esame con lui con ottimo risultato. Però questa sua teoria dei funzionali era una cosa arrampicata sugli specchi; mi è servita ad ampliare le mie conoscenze ed a maneggiare problemi teorici connessi con altri campi senza troppo soffrire. Non sono un teorico, sono uno sperimentale che si è fatto una cultura teorica, tale da poter trattare problemi senza dover sempre andare a chiedere lumi a qualcun altro. Ero inoltre affascinato dalla meccanica quantistica, della sua totale assurdità che però funziona! Quindi ripeto: la tesi è stata un disastro, però è servita veramente ad aprirmi al mondo della fisica teorica.

*Dopo la tesi ha cominciato a lavorare presso i Laboratori di Frascati. Come è avvenuto?*

Dopo laureato non avevo un lavoro. Andai a parlare con Amaldi che in quel momento si occupava di elettroproduzione; non aveva però un posto disponibile. Contattai Bruno Brunelli chiedendogli quale fosse la situazione a Frascati; mi suggerì di fare un concorso. Feci il concorso e vinsi per il laboratorio dei "Gas Ionizzati". Riandai quindi da Amaldi per comunicargli la vincita del concorso; mi accettò nel suo gruppo affidandomi a Gherardo Stoppini che collaborava con lui nell'esperimento di elettroproduzione.

*Qual'era l'interesse per questo tipo di fisica a metà degli anni '60?*

L'interesse principale era lo studio del fattore di forma del mesone  $\pi^+$ ; a quel tempo, non si sapeva nulla sulle dimensioni e la forma dei mesoni; lo studio dei fattori di forma è stata la prima indagine volta a capire come fossero fatti questi oggetti.

*C'era già stato il lavoro pionieristico di Hofstaedter negli anni '50 che aveva aperto la strada...*

Sì, sì, però le caratteristiche dei mesoni erano ancora sconosciute. Noi scegliemmo l'elettroproduzione perché l'approccio alternativo, quello dello studio della diffusione elastica pione-elettrone nella regione "space-like", utilizzando un fascio di  $\pi^+$ , sarebbe stato molto più difficile. Devo dire che lo studio dei fattori di forma è servito solo per un limitato numero di anni, fino all'introduzione dei quarks e dei gluoni, suggerita dai dati sperimentali provenienti da SLAC; si è capito che la struttura è determinata da questi oggetti.

*Per quanto tempo ha lavorato in gruppo con Amaldi e Stoppini?*

Fino al '68... Tutti sanno cosa è successo: la contestazione e la paralisi dell'Italia, in particolare della ricerca. La sindacalizzazione degli istituti di ricerca ha generato problemi infiniti. Forse non è stata l'unica ragione, ma io penso che i maggiori problemi per un ente come il CNR siano nati in quel periodo. Quando la parte sindacale ha cominciato ad interferire con i programmi di ricerca, i ricercatori non hanno più potuto operare liberamente ed utilmente. In quel periodo si fermò tutto; noi, in collaborazione con gli inglesi, avevamo messo su un nuovo grosso esperimento di elettroproduzione, con nuovi magneti giganteschi, tutto nuovo... Le apparecchiature erano state in parte portate dall'Inghilterra insieme ad un gruppo proveniente da NINA, la macchina del laboratorio di Daresbury; tutto era già stato spostato nei laboratori di Frascati. Dopo il '68, in una notte, decidemmo di andar via e di trasferirci a Daresbury, dove era stata appena completata una macchina di energia cinque volte maggiore di quella di Frascati. I nostri amici inglesi ci hanno ospitato ed abbiamo alla fine fatto il più importante esperimento di elettroproduzione al mondo.

*Quindi vi siete spostati proprio tutti!*

Sì, sì, partimmo in blocco; eravamo: Lello Stefanini, Alberto Del Guerra, Marcello Giorgi ed io, quattro fisici.

*Quindi tutto il lavoro avviato a Frascati fu interrotto!*

Chiudemmo e tutto fu riportato in Inghilterra; in una notte abbiamo deciso di partire; Amaldi invece è voluto rimanere e secondo me ha fatto male. Un libro della Springer Verlag a firma di Amaldi e Fubini venne in seguito dedicato all'elettroproduzione; contiene praticamente solo i nostri risultati.

*Ma loro andarono avanti?*

Sì, dopo un certo tempo, ma di fatto fecero solo "piccolo cabotaggio" in quanto il Sincrotrone di Frascati aveva un'energia di 800 MeV mentre a Daresbury ne avevamo 5000. Noi abbiamo misurato per la prima volta il fattore di forma assiale del nucleone, cosa praticamente irraggiungibile in altro modo; avrebbe richiesto lo studio della diffusione di neutrini su nucleone, con una sezione d'urto inesistente. Noi lo potemmo misurare immediatamente. Facemmo moltissime misure. I principali risultati furono

quello relativo al fattore di forma assiale del nucleone e quello sul fattore di forma del  $\pi^+$ . Tirammo fuori una pletora di risultati sperimentali.

*Quindi questa esperienza inglese è stata molto positiva!*

Estremamente positiva! Siamo stati in Inghilterra per quattro anni, dal '69 al '73; poi NINA è stata smantellata; era stata una macchina fatta praticamente su misura per noi.

*Al di là di questi risultati sperimentali, certo molto interessanti, che opportunità di evoluzione, anche a livello personale, le ha dato questo soggiorno inglese?*

Mi ha dato... Mah, non tanto devo dire! Non ho mai creduto molto nei risultati che ho ottenuto. Avendo visto quali siano i risultati veramente fondamentali, non ho mai avuto la sensazione di stare facendo cose veramente importanti, a livello, tanto per fare un esempio, di quelle riguardanti la meccanica quantistica. Facevo una specie di lavoro, una specie di catalogazione; cose che vanno fatte e che avrebbero potuto evolvere successivamente in altre cose. Era comunque l'unico tragitto che ero riuscito a trovare per fare della fisica sperimentale. Potevo eventualmente pensare anche ad altri problemi; lo facevo, per esempio, pensando a questioni relative alla gravitazione, però in modo ancora estremamente embrionale.

*Quindi, in qualche modo, era già nato l'interesse per la gravità?*

Ma sì, c'era un interesse per la relatività generale, questa teoria matematicamente così complessa. L'interesse era già nato a livello della laurea ed ogni tanto ci ritornavo sopra. Il periodo inglese è stato estremamente interessante anche dal punto di vista umano; ci ho vissuto con due figli, uno dei quali nato a Manchester; ora si trova in Inghilterra e ci lavora. Dal punto di vista scientifico sono sempre rimasto su un atteggiamento "So what... ", mai soddisfatto, al punto da dire: "Noi abbiamo fatto questo!". Forse è nella mia natura pensare che le cose non vadano prese troppo sul serio. Tutto sommato, non bisogna dargli importanza più di tanto!

*Dopo l'Inghilterra quale è stata la successiva evoluzione?*

Dopo lo smantellamento della macchina di Daresbury, siamo tornati tutti indietro. Io sono entrato nel gruppo di Lorenzo Foà, che si chiamava FRAMM. L'esperimento studiava diverse reazioni al protosincrotrone del CERN; sono state fatte cose molto importanti, direi più importanti di quelle fatte in Inghilterra nel gruppo PEP —  $\pi$  ElectroProduction — in particolare: la misura della vita media dei  $D$ , i fattori di forma nella regione time-like del  $K$  e del  $\pi^+$ . Però questo gruppo era troppo grande per i miei gusti; prima eravamo solo in quattro fisici, più i tecnici.

Siamo andati avanti a fare esperimenti al CERN fino a verso l'inizio degli anni '80. La vita media del  $D$  è stata fatta mediante un nuovo metodo di misura e l'impiego dei rivelatori a stato solido, fatti a striscioline di silicio drogato. Marcello Giorgi, che veniva come me dal gruppo PEP, è stato quello che ha dato il maggiore contributo allo sviluppo di questi rivelatori; ora sono usati in tutto il mondo; sostanzialmente non c'è

esperimento che non abbia introdotto questi sistemi.

*Lo sviluppo di questi rivelatori era importante anche al di fuori delle vere misure di fisica.*

Direi che questo è stato uno dei risultati più importanti uscito da questa saga del gruppo FRAMM al CERN.

*Quando era nato il gruppo FRAMM? Esisteva già quando ci siete entrati?*

Sì esisteva già; era un gruppo eterogeneo, fatto di persone che avevano lavorato precedentemente al CERN. Noi invece eravamo un po' "stranieri"; ci siamo buttati in questo gruppo perché era l'unico che facesse delle cose che stavano partendo in quel momento. Molto spesso le scelte sono anche un po' obbligate... Se uno non ha ancora pensato un nuovo esperimento, ma non vuole rimanere fermo per degli anni, è positivo aggregarsi ad un gruppo esistente, perché è sempre fondamentale avere una attività sperimentale.

*Come si collocavano nel panorama generale le misure di FRAMM?*

Le nuove particelle "charmate" erano molto importanti e se ne misurava la vita media per la prima volta. Anche molto interessante è stato lo studio sperimentale dei fattori di forma dei  $\pi$  e dei  $K$  nella regione "space-like", mediante la diffusione di adroni su elettroni atomici.

*Nei primi anni '60 era cominciata la sperimentazione ai collisionatori  $e^+e^-$ ; mi chiedevo come si raccordasse questo tipo di ricerca con quello che facevate voi al CERN.*

Come dicevo, abbiamo determinato i fattori di forma dei  $K$  e dei  $\pi$  nella regione "space-like". Poi abbiamo potuto misurare il fattore di forma del  $\pi$  nella regione "time-like" inviando un fascio di positroni contro gli elettroni atomici e producendo delle coppie  $\pi^+\pi^-$ . Questo è stato l'ultimo esperimento che ho fatto fino al 1981, perché poi, fra il 1981 e il 1984 mi sono totalmente bloccato per ragioni di salute. Ero gravemente malato e non sapevo se ce l'avrei fatta! Questa valutazione drammatica è servita a farmi covare l'idea di fare VIRGO. Stavo così male che mi dissi: "Cerchiamo di vedere se uno riesce a fare ancora qualcosa".

*Come è avvenuto il passaggio tra il tipo di fisica, che era stato il suo pane quotidiano fino al giorno prima, e questi nuovi interessi?*

È avvenuto con grande fatica perché stavo molto male! Non andavo neanche più a lavorare, non potevo guidare, non potevo fare più niente; per cui, ad un certo punto, ho ricominciato a pensare alle cose che mi piacevano da tanti anni, da quando avevo cominciato l'Università. La ricerca delle onde gravitazionali era, in quegli anni, perseguita mediante le antenne a barra; io volevo cercare di fare qualcosa di molto più avanzato e scrissi un "report" sull'argomento che è servito molto. Fu letto per la prima volta da Adriano Di Giacomo, il teorico di Pisa. Essendo persona molto stimata nell'ambiente, il suo giudizio positivo su questo report ha contribuito ad aprire le porte

di Pisa a questo tipo di fisica, in qualche modo ortogonale all'usuale campo delle alte energie. Cominciai a metter su delle attività sperimentali mediante l'iniziativa IRAS. Era un interferometro per la riduzione attiva del rumore sismico; gli specchi di un interferometro devono purtroppo essere appesi a qualcosa e questo qualcosa non deve portare rumori dall'esterno. Avevamo l'enorme problema di realizzare un isolamento totale, come se fossimo stati nello spazio cosmico. Quello è stato l'inizio; con pochi ricercatori dell'Università di Pisa si è cominciammo a mettere su questo esperimento.

*Lei ha scritto questo report che analizzava lo stato dell'arte nella rivelazione delle onde gravitazionali. Quanto ha dovuto studiare? Come è avvenuto questo cambiamento di campo? Che processi di elaborazione ha dovuto affrontare?*

Sono partito veramente da zero! Pensi che non sapevo neanche che Amaldi avesse un'antenna criogenica; ero rimasto a quando Amaldi si occupava di elettroproduzione. Mi ero chiesto: "Quale è la cosa più difficile da fare in questo momento, più elusiva, che potrebbe tuttavia dare informazioni fondamentali non disponibili oggi?". Sapevo di queste antenne gravitazionali progettate da Joseph Weber; ma ormai, onestamente, la gente non ci credeva neanche più alle antenne di Weber, a causa dei molti falsi segnali che producevano. Un giorno andai all'INFN per parlarne con un po' di gente. Mi ricordo che Gianpaolo Bellini, allora membro della giunta, mi disse: "è una cosa ottima se si trova una alternativa alle antenne!". Joseph Weber è stato il primo che ha inventato queste antenne; era persona di ingegno rimarchevolissimo, eccezionale, sottostimato ed in qualche modo ostracizzato dagli americani e da tutta la comunità scientifica. In realtà è stato il primo a capire come si potessero rivelare le onde gravitazionali; partendo da zero, ha ideato queste antenne a barra. Ne ha sviluppato la teoria facendo vedere come le onde gravitazionali interagiscano con un corpo e vi depositino energia; ha fatto vedere come tale energia possa essere misurata. Per questo lavoro Weber avrebbe meritato il premio Nobel. Weber ha inventato una quantità di cose importanti! Basti vedere le sue idee relative ai masers ed ai lasers.

Il campo relativo alla rivelazione delle onde gravitazionali ha avuto momenti travagliati, ma ha un enorme potenziale per la conoscenza dell'universo; personalmente questa è la cosa che mi interessa di più. Mi sono quindi chiesto quale fosse la via giusta per fare una indagine in quella direzione con una certa probabilità di successo! Ho cominciato a pensare agli interferometri ottici e mi sono convinto che fosse la cosa migliore per affrontare questo campo: interferometria ottica di altissimo livello, di livello parossistico... Mi hanno anche preso in giro per questo!

Pisa è un posto dove se uno ha delle idee riesce a portarle avanti; è molto duro perché è un posto dove uno viene esaminato continuamente, cioè anche prima di presentarsi alle commissioni nazionali. In qualche modo, si viene analizzati in modo attento da tutta la comunità circostante, con la quale uno discute e scambia opinioni. L'atteggiamento dei colleghi è sempre stato estremamente positivo nei miei confronti e per queste idee. C'è, come dire? un tacito accordo: "Vai pure avanti per la tua strada, basta che non ci rompi le scatole su quello che stiamo facendo noi!". Pisa è probabilmente il più grosso centro di fisica in Italia; se uno va a vedere gli esperimenti che sono stati fatti a Pisa si

resta sbalorditi; gli scienziati pisani hanno dato contributi fondamentali, al CERN ed a Fermilab, per esempio; tutti scienziati degli acceleratori, io rappresentavo una mosca bianca, in questa mia nuova veste. Probabilmente è servito moltissimo il biglietto da visita delle alte energie; il fatto che uno delle alte energie si fosse buttato su questo nuovo campo rendeva probabilmente la cosa più accettabile. Sono stato accettato molto bene e mi è servito!

*Come è evoluta l'attività in questo campo così nuovo?*

Uno dei punti sul quale avevo espresso il mio interesse, perché era poco studiato, era quello relativo alla sospensione degli specchi. Tutti i precedenti rivelatori di onde gravitazionali funzionavano da frequenze molto alte in su; pensavo invece che fosse interessante avere gran parte della sensibilità nella zona delle basse frequenze. Ho perciò inventato degli oggetti chiamati "superattenuatori". Sono oggetti spaventosi! Permettono di sostenere gli specchi e se c'è una vibrazione a 4 Hz — una frequenza impensabile per gli interferometri, tanto è bassa — se il terreno, ad esempio, vibra a 4 Hz, lo specchio risente della vibrazione del pavimento riducendo il rumore di  $10^{12}$  volte! Uno non si rende conto di quanto sia bassa una frequenza di 4 Hz e di quanto sia difficile fare sistemi di attenuazione a queste frequenze; farli a 1000 Hz non ci vuole niente, bastano pochi oscillatori armonici in cascata. Come dicevo, prima dell'invenzione dei superattenuatori, i normali interferometri funzionavano dai 100 Hz in su. Ora, la zona non coperta, quella delle basse frequenze, è ricca di sorgenti di onde gravitazionali: pulsars, sistemi binari coalescenti, buchi neri... Fino ad ora ci si era occupati solo di frequenze alte; i rivelatori a barra sono tipicamente sintonizzati su frequenze di circa 1000 Hz, utili per la rivelazione di supernovae. L'astrofisica più interessante, che dà informazioni su come sia fatto un buco nero dentro, su come interagiscano due buchi neri... insomma tutta l'astrofisica dei sistemi coalescenti, degli oggetti che girano uno intorno all'altro emettendo onde gravitazionali fino alla coalescenza, avviene a frequenze molto più basse dei 1000 Hz. La zona delle basse frequenze era troppo allettante per non andare ad esplorarla mediante qualcosa di nuovo!

Abbiamo cominciato con l'esperimento IRAS. Era un interferometro per lo studio della riduzione attiva del rumore sismico. Si voleva capire quali potessero essere i modi di sostenere gli specchi in maniera da eliminare il più possibile il rumore sismico. Abbiamo fatto di tutto e di più, provando cose incredibili, per esempio, utilizzando la stoffa dei gommoni per realizzare sistemi elastici che potessero anche reggere alla pressione atmosferica. Riesaminandole oggi, abbiamo fatto anche molte cose ridicole, ma il tutto è alla fine sfociato nell'apparato VIRGO, nel quale sono ampiamente usati i famosi superattenuatori, delle macchine pazzesche! Se farà un giro dentro gli edifici di VIRGO vedrà questi oggetti alti circa dieci metri. Una cosa fondamentale che abbiamo infine capito è stata che, per realizzare le attenuazioni mostruose da noi desiderate alle basse frequenze, si devono costruire sistemi a molti stadi nei quali, ogni stadio deve essere capace di attenuare nei sei gradi di libertà del corpo rigido. Per fare un esempio, prima di allora si pensava che, siccome gli specchi non devono potersi muovere in orizzontale, uno potesse fare una successione di masse su un filo e quindi produrre un'attenuazione

del moto in orizzontale; non ci si curava del fatto che, lungo il filo, in verticale, il rumore fluiva perché il filo era rigido. Può sembrare stupido, ma nessuno l'aveva ancora capito che, per arrivare alle altissime attenuazioni, ogni elemento del sistema dovesse attenuare nei 3+3 gradi di libertà, cioè: le tre traslazioni e le tre rotazioni del corpo rigido. Noi costruimmo i primi due superattenuatori — ora montati da qualche parte in VIRGO — secondo questo concetto; ne dimostrammo il funzionamento e questa è stata la nostra grande “vittoria”. Avevamo portato qualcosa di nuovo nel “mercato” delle cose per la rivelazione delle onde gravitazionali. I più grandi interferometri allora esistenti erano quello di 40 metri di Caltech e quello di 30 metri, a linee di ritardo, di Monaco di Baviera.

*Di che anni stiamo parlando?*

Più o meno gli anni fra l'85 e l'87. Le prime prove dei superattenuatori credo che fossero nel 1987, il primo risultato importante ottenuto. Eravamo in pochissimi: Raffaele Del Fabbro, Angela Di Virgilio, Adalberto Giazotto, Hans Kautzky, Vinicio Montelatici, Diego Passuello, pochissimi! Questo oggetto mostruoso fu montato a S. Piero a Grado, tutto è successo a S. Piero.

*Come si era aggregato il gruppo di persone intorno a questo progetto?*

La forza di coesione fu l'interesse a lavorare su cose estremamente avanzate per fini molto difficili da raggiungere...

*Erano tutte persone che venivano dalle alte energie oppure anche da altri settori?*

Montelatici veniva dall'ENEA; Kautzky, Del Fabbro, Di Virgilio venivano tutti dalle alte energie. Sì, alla fine eravamo quasi tutti alti energetisti; la differenza tra gli alti energetisti e gli ottici, mettiamola così, è che gli alti energetisti sono capaci di costruire cose grandi, invece gli ottici no. Adesso dirò una cosa cattiva che rimarrà registrata per sempre... Se uno deve fare esperimenti che implicano la costruzione di cose grandi, deve chiamare gente che ha lavorato a cose grandi. Noi abbiamo avuto dei problemi a VIRGO, del tipo: cose grandi fatte da gente che non era abituata a costruire cose grandi; hanno funzionano molto male! Invece, per farle bene, bisogna essere abituati a costruire cose grandi.

*Come vi collocava nel panorama internazionale il risultato da voi ottenuto?*

Eravamo gli unici al mondo ad avere dimostrato sperimentalmente che era possibile ottenere attenuazioni dell'ordine di  $10^{10}$  volte a circa 10 Hz. Con Virgo non siamo certi di poter arrivare a scendere a queste frequenze così basse, perché il rumore non entra solo tramite la sospensione degli specchi, ma entra attraverso i controlli, attraverso infinite altre cose; sono quelli che noi chiamiamo “rumori tecnici”. Dobbiamo risolvere il problema dei rumori tecnici, ma sappiamo almeno che i nostri sistemi di sospensione degli specchi funzionano già perfettamente. Questo è stato il risultato chiave; sulla sua base, l'Italia ha approvato VIRGO.

*A quello stadio del progetto non avevate ancora nulla, stavate semplicemente portando avanti degli studi di fattibilità.*

Intorno al 1987, se non ricordo male, c'è stato un incontro fondamentale. Come ho già detto, noi eravamo gli unici al mondo in grado di costruire una macchina capace di funzionare a frequenze molto basse; ci furono dei contatti con Karl Maischberger del Max Planck Institut, ove avevano un interferometro di 30 metri funzionante a linee di ritardo. I francesi vennero a conoscenza del fatto che noi stavamo intavolando trattative con i tedeschi per un grande interferometro; mi inviarono, tramite l'INFN, un messaggio nel quale mi dicevano che sarebbero stati interessati a costruire questo grande interferometro in società con noi. Questo è stato un elemento chiave, perché ha fatto cambiare il progetto da uno basato sulle linee di ritardo ad uno basato su cavità di Fabry-Perot. Nelle linee di ritardo la luce percorre un cammino unico lungo la linea; nella cavità invece la luce passa moltissime volte lungo lo stesso cammino. Demmo ai francesi una risposta chiaramente positiva! I colloqui furono intavolati con Philippe Tourrenc, un astrofisico molto bravo, ma che, poverino, era paraplegico. Precedentemente avevo conosciuto anche Alain Brillet ad un *Marcel Grossman Meeting* nel 1986 ed avevamo cominciato a parlare un po' della possibilità di fare qualcosa insieme, con loro che avrebbero potuto occuparsi della parte ottica della cavità, mentre noi ci saremmo occupati di tutta la parte della sospensione degli specchi. Noi siamo stati i primi a proporre un interferometro di grandi dimensioni ed i francesi si sono uniti a noi. La morale della storia è che decidemmo di andare avanti nel progetto basato sull'uso di cavità Fabry-Perot, che in realtà sono poi quelle usate anche in altri interferometri come, ad esempio, LIGO negli Stati Uniti. Le cavità hanno rappresentato una via di uscita al problema dei fondi associati all'uscita del fascio di luce dal sistema ottico. Nelle cavità, se risonanti, il fascio corre lungo la cavità anche per 100.000 volte, caricando la cavità; solo una piccola frazione della luce fuoriesce dal foro di uscita praticato negli specchi, generando così solo un basso fondo. I tedeschi, a loro volta, hanno formato una collaborazione con gli inglesi — Karl Maischberger era da poco morto di tumore — e si erano anche resi conto che l'approccio a linea di ritardo introduceva troppo rumore. Vedendo che anche l'interferometro di Caltech veniva basato su un Fabry-Perot, decisero di costruire un interferometro Fabry-Perot: GEO600 ad Hannover. Non si collegarono più con noi.

*Quindi questa è l'organizzazione finale che emerge?*

Sì, in qualche modo le cose si sono organizzate o disorganizzate, non so bene. . . Fatto sta che noi siamo rimasti molto soli in Europa; siamo rimasti solo noi ed i francesi, perché i tedeschi sono prima andati con gli inglesi, poi, insieme, si sono uniti agli americani di LIGO. E va beh!

Noi siamo stati approvati nel '93. Ho la lettera di Maiani il quale mi dice: "VIRGO è stato approvato". VIRGO è stato promosso dal carissimo Nicola Cabibbo, quando era Presidente dell'INFN; gli piaceva VIRGO ed in qualche modo è stato accettato in modo scientificamente ben motivato da Nicola Cabibbo al quale è succeduto poi Maiani. Maiani l'ha portato all'approvazione nel '93. Poi, nel corso degli anni, siamo andati avanti in mezzo ai comitati, una cosa allucinante! Comitati di tutti i tipi, messi su dal

CNR, dall'INFN per lo studio della fattibilità, dei costi, etc.

*Cosa prevedeva esattamente il progetto?*

C'era una parte di infrastrutture enorme, che costava un sacco di soldi; VIRGO è stato approvato con un finanziamento di 76 MegaEcu, quindi poca roba alla fine, perché l'Ecu valeva circa 1500 lire. Voleva dire più o meno 100 miliardi di lire per un oggetto gigantesco, lungo sei chilometri, composto di strutture pesanti. La cosa bella è che abbiamo rispettato, più o meno, quel preventivo. Siamo rimasti in quella cifra anche perché poi si è passati dall'Ecu all'euro ed un Ecu è diventato un euro, cosa che ci ha favorito. Siamo rimasti nel "budget" e d'altronde sull'esperimento è stato esercitato un controllo ferreo da parte sia del CNRS che dell'INFN.

*Un sacco di aspetti noiosi per la ricerca!*

Sì, sì, assolutamente! Abbiamo fatto una indigestione di meetings di tutti i tipi; una quantità infinita di commissione d'esame dell'INFN, del CNRS e miste... Un cammino dolorosissimo!

*Come avete proceduto da un punto di vista pratico, passando dal periodo di S. Piero a Grado all'organizzazione ed alla costruzione? Che tipo di problemi avete dovuto affrontare?*

La questione della costruzione era uno dei grandi punti che veniva continuamente affrontato dai nostri detrattori; perché abbiamo avuto anche noi i nostri detrattori! Uno di questi era Piero Dal Piaz, che lei certamente conosce. Devo dire che è stato recentemente molto carino! Quando ho presentato i dati di VIRGO, mi ha chiesto scusa, dicendo di essersi sbagliato. È stato molto carino, un atto di lealtà come non sempre capita!

La costruzione è stata effettivamente una cosa estremamente complessa; ha avuto una organizzazione di tipo militare. Io ero stato nominato "Project Leader" e l'idea era di farlo alternativamente tre anni io e tre anni Alain Brillet, essendo l'iniziativa binazionale. Gli edifici furono progettati da Raffaello Bartelletti, un ingegnere di Pisa; il secondo lotto è stato invece progettato da Massimo Carmassi, per la parte relativa ai tunnel ed agli edifici terminali. Ho dovuto fare indagini di tutti i tipi in particolare per la questione degli espropri; devo dire che l'INFN mi ha molto aiutato dandomi, nelle varie fasi, il supporto di avvocati ed ingegneri.

Il rischio era ovviamente che non riuscissimo a far funzionare questa macchina; una cosa che non era mai stata costruita prima. Anche LIGO, negli Stati Uniti, era in costruzione in quel momento; erano stati approvati nel '99.

*Anche al tempo del primo anello di accumulazione ADA, si diceva: "I fasci non si incontreranno mai!"*

Qui era lo stesso: "Non riusciranno mai a fare risuonare le cavità, a tenere fermi gli specchi, a lavorare a frequenze così basse". In America ci avevano predetto che non avremmo mai potuto fare funzionare la nostra macchina, mai! Ne abbiamo sentite di tutti i colori! La verità è che abbiamo della gente qui di un livello elevatissimo. Uno

di questi, ad esempio, è Diego Passuello, una persona geniale! Ha contribuito anche al progetto del supercalcolatore APE. Diego si è occupato di tutta la parte di controllo di VIRGO, sostanzialmente del sistema di sospensioni. Diciamo che eravamo messi molto bene dal punto di vista della creatività e dell'innovazione. Ero riuscito a metter su un gruppo molto grande e molto articolato con competenze diversificate. San Piero a Grado è stato per noi una vera fucina. Abbiamo cominciato in un ambiente piccolissimo — veniva chiamato la chiesina — era una stanza di  $4 \times 4$  metri quadri dove avevamo messo quel primissimo IRAS del quale le ho parlato prima. Poi abbiamo costruito qualcosa di più grande, poi di più grande ancora; è stato necessario introdurre dei carroponi. Il tutto è stato formativo, la gente del gruppo ha seguito, stadio per stadio, tutta l'evoluzione; è cresciuta insieme al progetto. Per esempio, se uno vede come è fatto dentro un superattenuatore, si rende conto che è di una complicazione spaventosa. Tutto questo è stato fatto a Lucca, con i nostri giovani fisici che andavano quasi a dormire lì durante la preparazione dei pezzi: infiniti pezzi, preparazione dei pezzi, assemblaggio dei pezzi, tutto in camere pulite, tutti coperti da vestiti speciali. Tutti i pezzi di VIRGO sono stati montati in camere pulite per non inquinare gli specchi; è stata una impresa veramente epica!

*Un cammino molto difficile! Ci sono stati momenti di grande svolta durante l'avanzamento del progetto nel corso degli anni? Talvolta delle particolari soluzioni ai problemi rappresentano un salto di qualità da un punto di vista scientifico-tecnico.*

Per la verità quando noi abbiamo presentato il progetto per l'approvazione finale, il progetto era già estremamente dettagliato; inoltre tutto veniva seguito dalle commissioni che controllavano che facessimo esattamente quanto scritto. Non c'era alcuna possibilità di fare cambiamenti dell'ultima ora. L'ultimo cambiamento epocale, chiamiamolo così, che ha dato una vera svolta è stato il passaggio dalle molle a gas compresso alle molle di tipo meccanico — è un dettaglio tecnico importantissimo, però è semplicemente un dettaglio tecnico. Questa è stata una decisione che ha eliminato un sacco di difficoltà; abbiamo sfruttato un suggerimento degli australiani, che avevano cercato realizzare i nostri superattenuatori ed erano immediatamente passati a molle meccaniche. Quando ho visto che le molle a gas mi creavano dei problemi: c'erano problemi di "feedback", il gas si espandeva con la temperatura, gli oggetti erano piuttosto instabili... da un giorno all'altro ho detto: "Basta!". Ho progettato insieme a Fabrizio Raffaelli, che è uno dei migliori ingegneri dell'INFN di San Piero, l'attuale disegno dei superattenuatori. Questa decisione è stata un salto fondamentale, che ha gettato l'INFN nello sconforto! Proprio perché ogni passo era controllato. Il cambiamento del sistema di molle fu in parte preso come un riconoscere un grosso problema nel progetto. Naturalmente abbiamo avuto dei detrattori violenti: "Ecco, vedi, non sono capaci di farlo, etc.,etc.". A quel punto però potemmo far vedere, mediante grafici, che avevamo raggiunto un livello di attenuazione molto maggiore con queste molle meccaniche. È stato un progresso fondamentale per VIRGO.

*Quindi, non solo avete sviluppato un sistema più controllabile, ma avete anche ottenuto un miglioramento di prestazioni.*

Sì è stata una doppia conquista, ma tutto questo ha provocato del panico a livello INFN; mi ricordo ancora che c'era gente molto preoccupata! Poi, piano piano, è rientrato tutto.

Il progetto era stato estremamente ben preparato; per questo abbiamo dovuto aspettare ben dieci anni per essere approvati! Avevamo un "final design" che non era mai veramente finale, ci ha preso tempo, ritardando l'approvazione. Naturalmente è stata una cosa lunghissima anche dal punto di vista politico, perché un progetto a due nazioni è sempre una cosa molto complicata.

*Come avevate diviso il lavoro fra voi ed i francesi?*

Abbiamo fatto una divisione molto semplice: loro si sono occupati dell'ottica, noi della meccanica; eravamo completamente separati. Non c'erano particolari punti di contatto; questo, secondo me, ha complicato le cose, perché non abbiamo avuto alcun controllo sulle parti che facevano loro e viceversa. Non ne avevamo la possibilità; eravamo troppo pochi e le parti che dovevamo fare erano veramente molto grandi ed impegnative. In realtà, quando abbiamo messo le cose insieme non abbiamo avuto grossi problemi. I problemi hanno riguardato il funzionamento di alcuni oggetti particolarmente sofisticati quali il banco di iniezione del laser che abbiamo dovuto quasi rifare interamente per introdurre i "Faraday Isolators", oggetti che impediscono alla luce che ritorna dal "beam splitter" all'indietro verso il laser, di interagire con il laser stesso. Questo è stato un problema che ha creato non poche difficoltà alla collaborazione, anche a livello della reciproca accettazione Francia-Italia. Sapevamo fin dall'inizio che questa grande collaborazione per la costruzione di Virgo avrebbe dovuto affrontare problemi estremamente sofisticati non solo dal punto di vista ottico e meccanico, ma anche dal punto di vista politico. Ne abbiamo avuti e ce ne saranno sicuramente di nuovi in futuro. Ad ogni modo considero l'unione con la Francia all'origine del successo di Virgo

*Dal punto di vista scientifico era lei stesso che aveva promosso questa unione.*

Ognuno ha fatto la sua parte. L'Italia aveva cinque gruppi: Pisa, Firenze, Napoli, Roma, Perugia. I francesi avevano: Orsay LAL (il laboratorio di alte energie) dove prima stavano gli ottici, Nizza, dove poi si sono spostati gli ottici, Annecy, Lione e poi un laboratorio di Parigi. Ai gruppi italiani si è poi aggiunto il gruppo di Eugenio Coccia. Recentemente sono entrati in VIRGO anche gli olandesi; non hanno contribuito con finanziamenti di ingresso; bisognerà vedere come la collaborazione con loro evolverà.

*Lei aveva fatto un accenno ad una cosa interessante: l'idea della rete che unisce tutti gli esperimenti di onde gravitazionali.*

Questa idea del "network" è una cosa fondamentale perché la probabilità di rivelare qualcosa è estremamente piccola. Bisogna avere più esperimenti e usarli per fare quello che si chiama la "rivelazione coerente". Non la rivelazione coincidente! Quella coincidente significa che ogni macchina deve avere il suo segnale e poi si verifica che i

segnali dei vari esperimenti siano avvenuti più o meno allo stesso tempo. La rivelazione coerente invece non richiede che ogni esperimento abbia visto un suo segnale; è un modo di aumentare la sensibilità dell'insieme degli esperimenti. Non so se sono riuscito a spiegarmi... Provo a ripetere meglio. Supponiamo di avere tre esperimenti e di lavorare in "coincidenza"; ognuno degli esperimenti deve aver rivelato un suo impulso; gli impulsi vengono poi confrontati in ampiezza e tempo, per vedere se c'è una possibilità che vengano tutti da una stessa sorgente. Ma ognuno degli esperimenti deve avere una sensibilità sufficiente a rivelare un suo impulso. Quando si lavora in modo coerente con tre esperimenti, può succedere che uno od anche due esperimenti non vedano un loro segnale; ma l'insieme degli esperimenti rivela qualcosa, si vedono dei segnali che non si vedrebbero col metodo delle coincidenze. Con le coincidenze si perde il concetto di "fase"; invece, quando si fa una rivelazione di tipo coerente la fase non viene persa, per cui può succedere che, quando si analizzano i dati dell'insieme delle tre macchine, si possa avere un impulso risultante non visto nelle macchine separate. Le tre macchine diventano un'unica apparecchiatura! Avevo elaborato e portato avanti questo concetto in alcuni congressi sulle onde gravitazionali svolti all'Isola d'Elba nel 2001 e seguenti; volevo creare una "single machine". All'inizio gli americani, sempre un po' superbi, non ne hanno voluto parlare. Loro avevano due macchine e noi solo una... Poi, un anno fa, ci hanno detto che ci avevano ripensato e che consideravano molto importante mettersi insieme! Ora abbiamo messo a punto un "Memorandum of Understanding" che sta per divenire operativo. È chiaro che noi abbiamo un problema; dobbiamo recuperare quei quattro anni di differenza fra la loro approvazione nel '99 e la nostra nel 2003. La sensibilità del nostro esperimento deve essere molto migliorata; si può certo riuscirci, ma ci vogliono degli anni! Non c'è niente da fare! Per arrivare alla sensibilità di disegno si devono far passare gli anni; la natura non ti fa nessuno sconto. Noi adesso siamo già molto vicini, dai 500 Hz in su, alla sensibilità di disegno; dobbiamo invece guadagnare un fattore dieci alle basse frequenze. Alle basse frequenze i rumori sono terribili ed il loro rigetto non dipende dalla qualità delle nostre sospensioni, ma da cose come gli effetti della luce diffusa...

*Quindi avete ancora molto lavoro da fare per realizzare pienamente l'idea della "macchina unica".*

Esatto! Per fare in modo di essere equipollenti alla sensibilità degli americani. Per cui stiamo morendo per il troppo lavoro! Ah, ah, ah!

Credo che a questo punto ci sia poco da aggiungere; considererei l'intervista conclusa...