

## Capitolo 4

# Giorgio Salvini

Giorgio Salvini è nato il 24 aprile 1920 a Milano. Superata privatamente la maturità liceale si iscrisse a Medicina, ma alcune lezioni di Giovanni Polvani lo appassionarono talmente che decise di iscriversi a Fisica. La guerra lo costrinse a rallentare gli studi e a partire militare; al ritorno dal fronte, l'8 settembre 1943, non volendo servire la Repubblica di Salò, si diede alla macchia e visse clandestinamente dentro l'Istituto di Fisica di Milano fino alla fine delle ostilità grazie alla copertura offertagli da Giovanni Polvani – con il quale si era laureato nel 1942 – e da Giuseppe Bolla. Con la tesi sul betatrone cominciarono i suoi interessi per gli acceleratori, ma a quell'epoca la sola concreta possibilità di fare ricerca era offerta dai raggi cosmici, campo a cui si dedicò studiando in particolare gli sciami estesi e gli sciami penetranti. Invitato dall'Università di Princeton nel 1949, continuò negli Stati Uniti la ricerca sui raggi cosmici utilizzando delle tecniche originali per approntare da solo la strumentazione necessaria. Gli incontri che fece in America con Enrico Fermi, Bruno Rossi e John Wheeler, ebbero su di lui una notevole influenza. Nell'aprile del 1951, durante un breve ritorno a Milano, sposò una collega di studi, Costanza Catenacci e pochi mesi dopo, all'età di 31 anni, vinse il concorso a cattedra. Fu chiamato a Cagliari e poi a Pisa già nel 1952 sulla cattedra di Fisica superiore, e nel 1955 a Roma sulla cattedra di Fisica generale, per iniziativa di Edoardo Amaldi.

Mentre era a Pisa fu chiamato da Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini a realizzare un'impresa che avrebbe portato l'Italia in primo piano tra i paesi in cui si andava sviluppando la fisica delle particelle elementari: la costruzione di un grande acceleratore per elettroni e di un Laboratorio Nazionale sul quale potessero confluire gli sforzi dei fisici italiani facenti capo all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). L'idea di costruire grandi impianti era stata sempre congeniale a Giorgio Salvini perché già nell'immediato dopoguerra, insieme a Carlo Salvetti e

a Mario Silvestri, aveva pensato alla possibilità di costruire un reattore, rendendosi ben presto conto della necessità di coinvolgere l'industria. Da quelle iniziative aveva prese le mosse il CISE, Centro Italiano Studi Esperienze, fondato dai tre nel 1946 insieme a Giuseppe Bolla e nel quale Salvini era rimasto fino al 1948, quando aveva scelto di tornare all'attività di ricerca fondamentale.

Sotto la guida di Salvini, il 10 febbraio del 1953 partì l'operazione sincrotrone, dapprima con l'idea di realizzare una macchina da 600 MeV, subito dopo maturò la convinzione di doverla portare a 1100 MeV. Salvini dovette affrontare molte decisioni tra cui quella di proseguire con la costruzione di una macchina a foceggiamento debole e quella di cambiare in breve tempo l'iniettore per poter contare su un'energia di iniezione più elevata; ma la vera impresa fu quella di trasformare un terreno agricolo in un laboratorio attrezzato, compreso un settore di servizi che arrivavano fino all'impianto criogenico, affidato a Giorgio Careri, e ai servizi di calcolo, affidati a Angelo Turrin. I Laboratori di Frascati divennero ben presto un centro di attrazione per teorici come Giacomo Morpurgo e Raoul Gatto, e in particolare Bruno Touschek, che tra la fine del 1959 e l'inizio del 1960 propose la costruzione di un anello di accumulazione per elettroni e positroni. A quel punto le attività messe in piedi sotto la direzione Salvini erano numerosissime e tra le più importanti del Paese in quel settore: c'erano gli esperimenti che stavano per entrare in funzione al sincrotrone, c'era l'avvio dell'anello AdA, che dava inizio alla fisica degli urti materia-antimateria, c'erano tutte le ricadute dei servizi utilizzati per esperienze di fisica della materia. Il sincrotrone era un grande successo in sé: era la macchina più intensa della categoria, inoltre, già nel 1961, appena un anno dopo l'inizio dell'attività su AdA, venne avanzata la proposta di realizzare un anello di accumulazione molto più grande, Adone, da  $2 \times 1500$  MeV. Bisogna ricordare che in quel momento stava nascendo fortissima la concorrenza del CERN di Ginevra che era, però, centrata sull'uso di macchine a protoni. Salvini ebbe un ruolo determinante nella conduzione di esperimenti sulle proprietà dei mesoni neutri etc.

Intanto la costruzione di Adone andava avanti e su Adone Salvini era presente con un esperimento da lui guidato, che puntava alla produzione di raggi gamma e mesoni neutri. Nel 1966 Salvini era diventato presidente dell'INFN (1966); ma erano anche partite gravi agitazioni sociali e per giunta nel 1963 era scoppiato il caso Ippolito, in occasione del quale Edoardo Amaldi, Marcello Conversi e Giorgio Salvini si erano schierati decisamente contro gli accusatori del collega. Nonostante le responsabilità crescenti e le difficoltà del periodo, Salvini continuò a preoccuparsi dello sviluppo dell'ambiente di ricerca italiano. Sono gli anni in cui si scoprì con Adone la produzione di adroni negli urti elettrone-positrone e si determinarono i primi valori del rapporto tra la sezione d'urto totale adronica e la sezione d'urto per la produzione di coppie di mesoni mu, rapporto il cui valore era assai rilevante per i modelli a quark. Nonostante il dispiacere relativo alla scoperta della nuova particella  $J/\Psi$ , mancata per un soffio a Frascati perché, casualmente,

#### 4. Giorgio Salvini

l'energia massima di Adone era leggermente inferiore a quella necessaria per osservarla, a Salvini rimase la soddisfazione di aver aperto la strada a quella scoperta promuovendo la linea degli anelli di accumulazione.

Un'impresa con enormi riflessi sullo sviluppo della ricerca fu il riordinamento dell'INFN. Con il vicepresidente Claudio Villi, che gli succederà, Salvini riuscì a sganciare l'ente dalle pastoie delle "nomine politiche", salvaguardandone l'autonomia di programma e di valutazione nel rispetto delle più generali norme amministrative. Salvini si preoccupò molto in quel periodo dei problemi della formazione dei giovani e non perse mai d'occhio la scuola ad ogni livello, dal punto di vista dell'educazione scientifica.

A partire dal 1976 Salvini decise di lanciarsi in una ricerca sui problemi delle interazioni elettrodeboli al CERN, dove su pressione di Carlo Rubbia, era stato realizzato un anello per protoni e antiprotoni. Un'impresa rischiosa che Salvini sostenne fin dall'inizio. Nel 1983 l'esperimento UA1 riuscì a identificare i bosoni intermedi  $W$  e  $Z^0$ . Per questa scoperta Carlo Rubbia – alla guida del gruppo italiano dei fisici partecipanti all'impresa – e Simon Van der Meer (il realizzatore del fascio di antiprotoni) ebbero il premio Nobel nel 1984.

Nel 1990, a un anno dalla scomparsa di Edoardo Amaldi, Giorgio Salvini diventava presidente dell'Accademia dei Lincei, attraverso la quale ebbe modo di continuare l'opera del suo predecessore nel campo del disarmo, con l'aiuto di Francesco Calogero e Carlo Schaerf: la Conferenza Amaldi, gestita da Salvini, divenne un'occasione mondiale di confronto sui problemi della pace. In quel periodo venne chiamato a coprire la carica di Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST) nel governo Dini del 1994; nel corso del suo mandato cercò di risolvere il problema dell'occupazione giovanile nel settore scientifico cercando anche di varare una legge per i concorsi che mettesse riparo alle gravi pecche del sistema. Parallelamente si occupò attivamente del riordino dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e del raccordo con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Durante il suo ministero partì il programma associato al satellite SAX (che di lì a poco venne ribattezzato BEPPO-SAX, in onore di Giuseppe Occhialini). BEPPO-SAX osservò i primi enormi *flash* di raggi gamma cosmici (*gamma-ray bursts*).

Nel 1998 Salvini è divenuto presidente onorario dell'Accademia dei Lincei e professore emerito dell'Università di Roma "La Sapienza".

### 4.1 Introduzione

In questa nota ho deciso di descrivere le mie ricerche di fisica con i raggi cosmici, che si sono svolte dal 1945 al 1952, proprio perché in quel periodo le ricerche sui raggi cosmici nel mondo sono state di decisiva importanza per la storia della fisica, dalle interazioni nucleari alla scoperta dei pioni alla sequenza di nuovi fermioni e bosoni. Io mi sono trovato coinvolto in

queste ricerche dall'età di ventiquattro anni (al mio ritorno dalla seconda guerra mondiale) sino a trentadue anni. Ho lavorato nel gruppo di Milano e per due anni (1950 – 1952) negli Stati Uniti. Non abbiamo contribuito in modo decisivo alla storia di queste ricerche, pur portando, come si vedrà, risultati che hanno destato un certo interesse nel campo dello sviluppo e della struttura degli sciami estesi di grande energia e delle interazioni nucleari.

Nel 1951 tornai dagli Stati Uniti e passai alla fisica con le macchine acceleratrici in Italia e in Europa. In realtà fui quasi strappato dai miei fisici anziani da un campo all'altro della fisica. Ma, come dirò, mi considero fortunato oltre i miei meriti per le mie scelte, libere o condizionate, da allora, sino agli anni novanta ed oltre del secolo scorso.

La mia attività di ricerca teorica e sperimentale sui raggi cosmici si svolse dunque negli anni 1946–1950 in Italia, e negli ultimi due anni (1950–1952) negli Stati Uniti.

Essa iniziò a Milano nel 1944, quindi in una città e in un paese semidistrutto dalla guerra, con insufficiente informazione dovuta all'isolamento dalle scoperte scientifiche durante gli anni di guerra, e si chiuse nel 1952, quando venni definitivamente attratto dalla fisica di alta energia con macchine acceleratrici di laboratorio. In effetti, dalla fine del 1952 in poi fui totalmente assorbito nella realizzazione dell'elettrosincrotrone Italiano da 1100 MeV, e nelle ricerche con esso e con altre macchine successive.

Debbo dire che quegli anni di ricerca sui raggi cosmici in Europa e nel mondo hanno prodotto un enorme sviluppo della fisica, come illustrerò. Io ho partecipato in modo non decisivo alle scoperte fondamentali dell'epoca. Ma forse anche questo può aiutare a rendere il mio resoconto di quegli anni interessante e imparziale.

La mia attività inizia nel 1945, alla fine della seconda guerra mondiale, con i fisici attenti al problema del legame, ancora confuso, tra i fenomeni elettromagnetici e quelli nucleari, con il mesone  $\mu$  intermediario ed equivoco legame tra i due. Finisce con un chiarimento tra le forze elettromagnetiche, deboli, nucleari, e con una serie di scoperte quasi troppo ampia di nuove particelle, fermioni e bosoni. Esse danno un quadro plausibile della struttura del nostro mondo, ma con difficoltà ancora oggi (2006) insuperate sulla difficile trattazione teorica dei loro rapporti.

Racconterò queste vicende, inserendole nel quadro delle scoperte maggiori fatte in quegli anni da altri gruppi. Il resoconto del periodo che val dal

#### 4. *Giorgio Salvini*

1944 al 1952 è così articolato:

1. Il ritorno dalla guerra e l'inizio della ricerca sperimentale nei raggi cosmici (1943–1945).
2. La ricerca in raggi cosmici in Italia (1946–1949).
3. Il proseguimento delle ricerche in raggi cosmici in Italia e negli Stati Uniti (1949–1952).
4. La realizzazione di nuovi rivelatori: contatori Geiger-Müller in vetro, contatori sferici, in Italia; scintillatori liquidi e cristalli in camera di Wilson, negli Stati Uniti (1949–1951).
5. L'inizio a Pisa di nuove attività e il progetto di costruzione dell'elettrosincrotrone.

### 4.2 Il ritorno dalla guerra

Ritornai a Milano dalla Jugoslavia con una licenza straordinaria concessami per avere avuto la casa distrutta in un bombardamento. Appena arrivai, la sera dell'otto settembre 1943, seppi dalla radio che il governo italiano aveva stipulato un armistizio con gli alleati, già suoi nemici (Francia, Inghilterra, Stati Uniti). Fu una coincidenza casuale, che comunque mi fece decidere di lasciare l'esercito italiano per sempre. Ero sottotenente dell'arma del Genio, associato alla divisione Alpina Iulia. Dovevo andare anch'io a quella nostra infelice spedizione di Russia, ma invece feci appena in tempo a ricevere alla stazione di Udine i resti di quella divisione Iulia massacrata in Russia nei primi mesi dell'inverno 1942–1943.

Furono mesi piuttosto confusi per me e per il mio Paese. Mi furono di gran conforto, all'Istituto di Fisica di Milano, la paterna amicizia di Giovanni Polvani e poi di Giuseppe Bolla, e la fraterna amicizia di Carlo Salvetti, assistente dell'Istituto dal 1941. Io, laureato in Milano con lode nel 1942, con una licenza concessami per ragioni di studio, non avevo alcun titolo per poter lavorare in quell'Istituto. Anzi, potevo essere un pericolo per l'Istituto stesso, che accettava di nascondermi. Infatti, all'ordinanza della repubblica fascista rinascente, di presentarci per dichiarare se volevamo aderire, Salvetti ed io ci presentammo per dire di no. Naturalmente dovemmo subito dopo nasconderci.

La mia tesi, iniziata con il Professor Giovanni Gentile, che purtroppo morì ancora giovane nel 1942, e poi guidata dal Professor Polvani, era stata dedicata al betatrone, la nuova macchina acceleratrice per elettroni realizzata in



Figura 4.1: Giovanni Gentile Jr nei tardi anni Trenta (cortesia Enrico Gentile).

America da D. W. Kerst e R. Serber [1]. La notizia ci era giunta attraverso alcuni articoli arrivati dalla Svizzera.

Mi laureai nel luglio 1942, con la tesi: “Accelerazione degli elettroni con colpi di induzione elettromagnetica”. Voglio qui ricordare che in questa mia tesi proposi di considerare l’effetto di betatrone come una possibile sorgente di raggi cosmici nel contatto tra due stelle fornite di un elevato campo magnetico. Non era pensabile allora a Milano alcuna attività sperimentale per una ricerca degna di questo nome. Sicché nel 1943–1945 mi dedicai, con una presunzione eccessiva e senza alcuna guida teorica, a trattare un problema superiore alle mie possibilità di allora: le forze nucleari mesoniche tra protoni e neutroni. Molti tentarono una teoria delle forze mesoniche, pur senza sapere dei mesoni  $\pi$ , scoperti poi nel 1948, che producono per decadimento i mesoni  $\mu$  dei raggi cosmici. Ricordo in particolare i lavori di N. Kemmer, W. Heitler, H. Bethe [2]. Questi autori ed altri, negli anni 1937 e seguenti, assunsero come esistente, e con una massa dell’ordine di 200 masse elettroniche, la particella prevista da Yukawa: un esempio notevole di anticipata accettazione della previsione teorica. Anch’io mi associi a questa previsione. Questo mio risultato venne pubblicato sugli Atti dell’Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Non posso dire che lasciò traccia significativa, pur apprezzato dall’amico fisico Antonio Borsellino e dal

matematico Luigi Amerio. Comunque, è il numero 1 nella lista cronologica ufficiale dei miei lavori scientifici [S1]. In questo lavoro si determina il valore di un parametro arbitrario  $a$  dallo stato fondamentale del deutone, tenendo per la massa del mesone un valore pari a  $177 m_e$ . Le valutazioni del momento di quadrupolo, del momento magnetico, delle sezioni d'urto per neutroni lenti, risultarono in buon accordo con i risultati sperimentali.

### 4.3 La ricerca in raggi cosmici dal 1945 al 1949

La mia attività in laboratorio poté iniziare nel 1945 a Milano insieme ad Antonino Mura e a Vanna Tongiorgi. Nel nostro Istituto vi erano due orientamenti per agire e reagire alla situazione del nostro povero dopoguerra: quella guidata da Polvani, di realizzare un impianto di raggi X per ricerche di fisica sullo stato solido della materia; l'altra, di continuare le ricerche in raggi cosmici, su una linea di attività già svolta con successo negli anni 1939–1943 da Giuseppe Cocconi e Vanna Tongiorgi. Si trattava di procedere con idee nuove su quella strada. In particolare si era sviluppata a Milano l'arte di costruire i contatori di Geiger e Müller, particolarmente adatti alla rivelazione di elettroni e mesoni di alta energia, e allo studio degli sciami estesi.

Antonino Mura ed io ci mettemmo su quella via e successivamente si unì a noi Guido Tagliaferri, proveniente dalla Scuola Normale di Pisa. In un primo periodo lavorammo piuttosto isolati, e quasi completamente privi di notizie degli altri istituti del mondo, inclusa Roma, che procedeva in modo fiorente, con eccellenti risultati (vedi il paragrafo successivo sui risultati di Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni).

L'anno 1946 si può considerare per Milano l'anno della nostra rinascita: si allacciarono i primi rapporti con Roma. Fu per me memorabile il viaggio Milano–Roma–Milano con Vanna Tongiorgi e Giuseppe Cocconi, ormai sposi; incontrai finalmente l'ormai famoso Edoardo Amaldi. Si conobbero i risultati romani (G. Bernardini, L. Mezzetti, S. Sciuti ed altri) sui mesoni  $\mu$  – vita media e proprietà di interazione – e sui progressi in America e in Inghilterra, sulla struttura complessa degli sciami estesi dell'aria e sui cosiddetti sciami penetranti. Sono ancora grato per l'interesse di Gian Carlo Wick al mio lavoro teorico [S1], ma capii che eravamo ormai avviati su nuove linee di pensiero. Scopersi da lui il nuovo termine “interazione forte” per le interazioni nucleari. Fu l'anno della ripresa di contatti personali; in

particolare ricordo che fu Gilberto Bernardini a legarci generosamente alle sue personali ricerche sperimentali sui raggi cosmici e in generale a quelle del gruppo romano. Gilberto metteva voglia di lavorare, ispirava nuovi pensieri, anticipava le cose e soprattutto donava fiducia e alimentava il nostro orgoglio e le nostre speranze. Da lui ho imparato che la fiducia è un bene severo, che induce alla disciplina, spesso più di un seppur motivato rimprovero. Gilberto riconosceva il valore, si inchinava a chi – pochi – avevano piglio e gettata maggiore di lui. L'invidia scientifica, il tormentarsi nel valutare la misura di sé rispetto agli altri, il non gioire dei risultati di altri fisici perché non sono i propri, non facevano parte del suo bagaglio.



Figura 4.2: Giovanni Polvani (Cortesia famiglia Polvani).

L'Istituto di Fisica di Milano era diretto dal Prof. Giovanni Polvani. Mi fa piacere ricordare qui i miei maestri di quegli anni. Giovanni Polvani ha trasmesso a me e all'Università di Milano l'interesse già in me vivo per le scienze umanistiche. Qualcuno lo ha definito "Un umanista prestato alla fisica". Storico profondo ed attento alle fonti, per quanto riguarda la fisica la sua parte forte era la termodinamica; avevamo tutti da imparare da lui, allora e negli anni seguenti.

Giuseppe Bolla, più giovane, anzi messo in cattedra da Polvani, è stato uno sperimentatore raffinato nel campo dell'ottica; da lui ho imparato molto

#### 4. Giorgio Salvini

per quanto riguarda le tecniche e i metodi sperimentali. Mi incoraggiava molto: prendeva sul serio e favoriva i miei programmi e la mia attività in laboratorio. Aveva un sottile ed a volte impietoso spirito critico per i risultati ottenuti da sé e dagli altri.

Con Carlo Salvetti sono stato amico tutta la vita. Con commozione (è mancato lo scorso anno) voglio ricordare che mi ha aiutato sempre, dal mio ritorno a Milano dalla Jugoslavia nel 1943, al mio ingresso nella vita universitaria. Nel 1943, quando io tornai letteralmente spaurito nell'Istituto di Fisica, dove me ne stavo a studiare solitario alcuni articoli del 1935–1938, Carlo mi portò da Polvani, mi trattò da amico e collega, cosa che sollevò vivamente il mio spirito. Carlo Salvetti è stato una persona di prima classe, ma, lasciatemelo dire, tutti a Milano in quegli anni difficili 1940–1950 sono stati generosi con me.

Nel 1946 era venuto a Milano da Roma Bruno Ferretti, un fisico già famoso, che aveva vinto la cattedra di Fisica Teorica a Milano. Ferretti fu per tutti un faro di luce, nel campo dei raggi cosmici e di molti problemi quantistici. Tutto il mio gruppo lavorò con lui, teoria e risultati sperimentali. Debbo ricordare il mio sollievo nel confrontare la sua maggiore esperienza e visione teorica con quello che avevo sino a quel punto raccolto.

Inizì dal 1946 la serie di ricerche a varie quote che adesso vengo a raccontare. Esse ci hanno portato presto ad una descrizione degli sciami dei raggi cosmici nel loro sviluppo elettromagnetico nucleare, che anche oggi si può considerare corretta. Fatemi chiarire che le ricerche sugli sciami estesi erano lo studio degli eventi di massima energia d'urto particella – particella che madre natura potesse offrirci.

Posso distinguere la nostra attività milanese in due fasi: la prima a Lago d'Inferno, in provincia di Sondrio, a 2100 metri di altezza; la seconda alla Testa Grigia, sul Monte Cervino, a 3500 metri di altezza. Là era nato il Laboratorio Nazionale di Raggi Cosmici, per merito particolare, da Roma, di Gilberto Bernardini e di Ettore Pancini.

A guerra appena finita, Lago d'Inferno fu il segno della nostra orgogliosa ripresa. Ricordo Polvani e Bolla, appollaiati nella cassetta della teleferica vietata al trasporto di persone, dondolanti a cento metri dal suolo, salire con noi ed aprire la strada alle ricerche milanesi, dopo il disastro della guerra.

Un mio primo lavoro sull'assorbimento della radiazione cosmica a 2100 metri apparve sul *Nuovo Cimento* nel 1946 [S2]. In esso si contribuì, con

una doppia analisi e impiegando dispositivi di contatori di Geiger e Müller, a fissare la percentuale degli elettroni sulla componente penetrante (mesoni  $\mu$ ), al variare dello spessore di piombo attraversato. Gli elettroni della radiazione cosmica sono ben identificabili dalla loro capacità di moltiplicarsi in cascata e di dare luogo ad eventi che interessano contemporaneamente più contatori (coincidenze quintuple, vedi Figura 4.3).

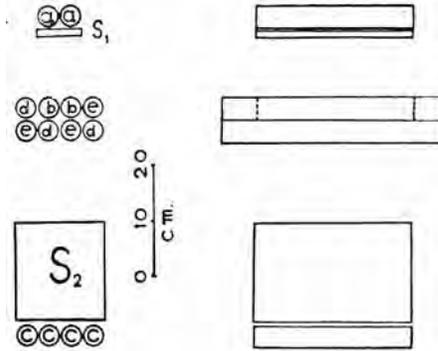


Figura 4.3: La disposizione sperimentale dei contatori nel lavoro [S2].

Le particelle penetranti e di scarsa interazione danno luogo a coincidenze triple in  $a$ ,  $b$  e  $c$ . Esse avevano allora ancora il nome di mesotroni e poi di mesoni  $\mu$ . Nella Figura 4.4 sono riportati parte dei risultati.

cm Pb ( $S_1 + S_2$ )	Triple al min	Quintuple al min	Triple— Quintuple corr. (mes.)	Quintuple corrette (elett.)	% elett. sui mes.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0	$24,1 \pm 0,2$	—	(18)	(4,7)	(26,1)
1,2	$21,3 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,1$	17,9	2,45	13,6
1,6	$21,4 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,1$	18,4	1,82	9,9
2,8	$20 \pm 0,2$	$2,6 \pm 0,1$	17,7	1,44	8,1
4,6	$18,7 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,1$	17,3	0,58	3,3
6,6	$17,6 \pm 0,15$	$1,4 \pm 0,1$	16,8	0,2	1,2
7,8	$17,4 \pm 0,2$	$1,27 \pm 0,1$	16,6	0,13	0,8
11,6	$16,6 \pm 0,2$	$0,95 \pm 0,1$	16,3	0	0

Allo spessore del Pb è da aggiungere lo spessore dei contatori (mm 3 di ottone + mm 7 di vetro).

Figura 4.4: La percentuale di elettroni osservati nei raggi cosmici rispetto ai mesoni  $\mu$  dopo attraversamento di vari strati di piombo [S2].

Questa separazione tra elettroni e mesotroni era limpida in ogni misura locale. Le cose sono più complicate, come vedremo, quando si considerano eventi di grande energia, come gli sciami estesi.

Le nostre ricerche di gruppo (A. Mura, G. Salvini, G. Tagliaferri, lavori [S4, S5, S7, S8]) furono dedicate nell'estate del 1946 alla chiara separazione tra gli elettroni e la componente non elettromagnetica degli sciami estesi. Le conclusioni non furono definitive, ma si chiarì l'importanza di altri processi, oltre che lo sviluppo dello sciame elettromagnetico negli sciami estesi della radiazione cosmica. Vale la pena di ricordare le nostre parole nel lavoro [S7], perché esso contiene in nuce la catena pione  $\pi$  che va in mesone  $\mu$ , che divenne chiara nel 1948: "La presenza di mesoni negli sciami estesi è stata studiata in linea teorica da Hamilton, Heitler e Peng [3]. Questi autori considerano a) la formazione contemporanea sia di mesoni di vita media  $10^{-8}$  secondi, i quali danno origine immediatamente a quegli elettroni di disintegrazione che possono essere primari dello sciame esteso, sia di mesoni di vita media di circa  $10^{-6}$  secondi che si accompagnano allo sciame in cascata b) la creazione di mesoni per interazione dei fotoni con i protoni. Con la nostra disposizione e alla nostra quota sarebbe attendibile una prevalenza dell'effetto b). Un processo di tal tipo sembra trovare anche conferma nei lavori sperimentali di J. Tabin [4] e nella bibliografia ivi citata) che ha studiato l'eventuale produzione di mesoni da agenti non ionizzanti (fotoni). Questi fotoni hanno una probabilità relativamente elevata, dell'ordine dell'1%, di produrre mesoni in uno strato di piombo sovrapposto. Le misure di Tabin si riferiscono alla produzione di mesoni singoli; egli trova che nei mesoni prodotti c'è un eccesso di mesoni lenti rispetto allo spettro originario" [S7].

Ho riportato questa pagina perché in essa, e nella bibliografia raccolta, c'è una anticipazione di quello che presto, prima del 1950, avremmo trovato alla Testa Grigia. A volte i risultati vengono giù generosi come un acquazzone che ci ristora (la scoperta dei mesoni  $\pi$ , delle altre particelle nucleari, dei quark). Ma ci sono nuvole e nubi che lo preannunciano, che molte volte ci sfuggono.

Rileggendo oggi, a distanza di sessant'anni esatti, le nostre ricerche di allora, si ridesta in me quel senso dell'attesa di un nuovo che doveva venire, che ha illuminato tutti i miei anni (1946–1951) dedicati ai raggi cosmici. Gli sciami osservati arrivavano certamente alle massime energie concepibili per una particella iniziale di almeno 1000 GeV, ed erano formazioni discendenti in cascata da un unico primario. La struttura degli sciami dell'aria

era chiaramente complessa, e c'era un grosso problema per tutti: quello dell'origine e dell'energia dei raggi cosmici.

Nella Figura 4.5 sono riportati nell'ordine: uno sciame rivelato dalle coincidenze triple, tracce di particelle fortemente ionizzanti e una stella a due rami generata nel gas della camera. La camera di Wilson era magistralmente curata da Antonino Mura.

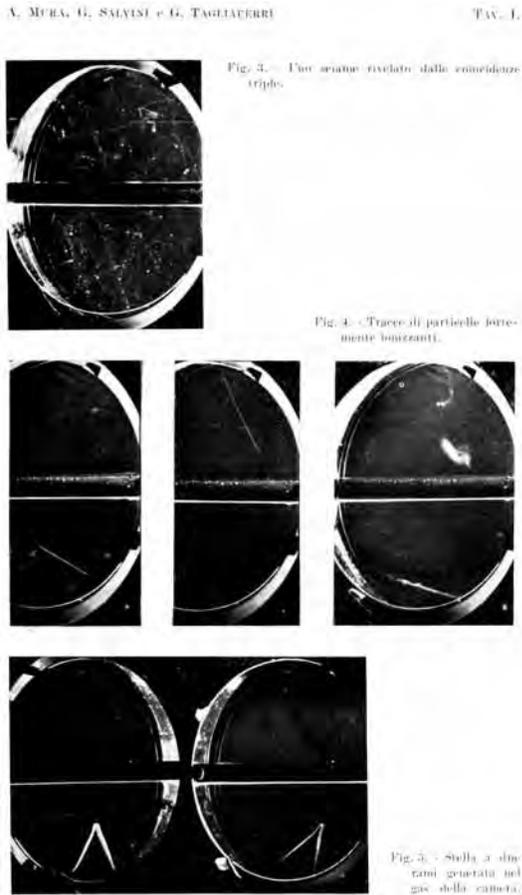


Figura 4.5: Figure 3, 4 e 5 del lavoro [S4].

Un primo chiarimento sulla struttura fondamentale degli sciami venne dalle ricerche effettuate a Lago d'Inferno, nel 1947. In questa seconda spedizione Tagliaferri ed io approfondimmo il problema della componente penetran-

te. Infatti realizzammo un sistema odoscopico di contatori di Geiger che permetteva di distinguere i singoli contatori che erano stati colpiti da una particella ionizzante dei raggi cosmici. Con questo apparato potemmo osservare la produzione multipla di più particelle dello sciame anche sotto uno strato di 10–15 cm di piombo. Questo strato era sufficiente ad impedire l'arrivo degli elettroni o dei fotoni dall'aria, mentre poteva essere facilmente superato dalla componente penetrante non elettromagnetica, che produceva quelle interazioni multiple.

Nella Figura 4.6 è data la generale disposizione sperimentale; i rettangoli a contorno tratteggiato indicano le posizioni dei due castelli di Pb e Fe.

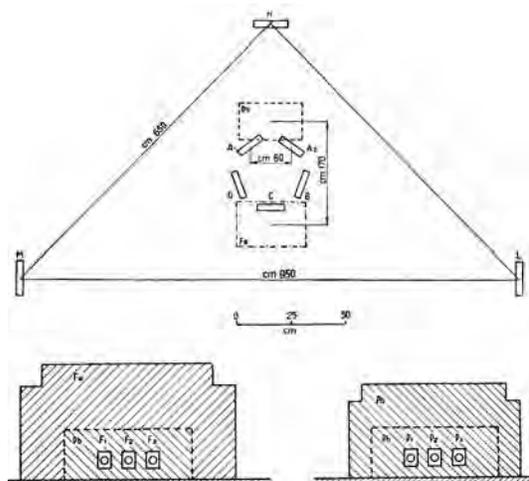


Figura 4.6: Figure 1 e 2 del lavoro [S6].

L'analisi degli eventi con contatori  $P_1$   $P_2$   $P_3$  isolati e in coincidenza (ed analogamente per i contatori sotto il ferro) permise di stabilire l'esistenza di sciame locali che si producevano nel Pb e nel Fe sovrastante. La scelta di due diversi assorbitori, Pb e Fe, permise un primo confronto delle sezioni d'urto di produzione di questi sciame locali per diversi numeri atomici. In questo lavoro [S6] e in particolare nell'annuncio su *Physical Review Letters* [S16] venivano presentati un insieme di risultati che permise di evidenziare l'esistenza di una "Local production of penetrating particles in extensive showers".

Insieme al nostro articolo pubblicato su *Physical Review* [S11], questi lavori

destarono notevole interesse, particolarmente in L. Jánossy e A. Broadbent. Espressero dubbi G. Cocconi e K. Greisen. Riporto quanto fu scritto da me e Tagliaferri sul problema: “In a previous letter on Phys. Rev. [S11] we reported that associations occur in the side distribution of the penetrating particles of extensive showers, and we inferred therefrom that the penetrating particles are partly produced in the absorbers, and in groups. A similar result was obtained by Broadbent and Jánossy, while Cocconi and Greisen have recently disagreed with our conclusions. Further examination of our data confirms our earlier belief, and suggests some explanation for resolving the disagreement” [S16].

Possiamo confermare oggi che la produzione locale di particelle per via non elettromagnetica, ma nucleare, è oggi chiaramente stabilita. Questi risultati furono un immediato sprone per nuove ricerche nostre e di altri autori immediatamente successive.

Le ricerche a Lago d’Inferno portarono dunque a confermare che i raggi cosmici producevano interazioni non solo elettromagnetiche, ma presumibilmente nucleari (gli eventi  $s$ ) anche a quote intermedia (per noi 2100 m s.l.m.). L’interpretazione dei nostri eventi locali  $s$  non fu facile agli inizi delle nostre ricerche, nel 1947. Ma esse cominciarono a chiarirsi con l’avvento dei mesoni  $\pi$ . Queste sono le conclusioni che scrivemmo pochi mesi dopo: “Alla quota di 2100 m, alla quale abbiamo sperimentato, gli sciame estesi dell’aria si presentano con una struttura non semplice. Alla loro costituzione partecipa, insieme con gli elettroni e i fotoni, una componente che si manifesta con le coincidenze nei due castelli di Ferro e di Piombo. Più tipi di particelle sono probabilmente presenti in questa componente. È certo che almeno una parte di essa, quindi almeno un tipo di particella, interagisce con gli assorbitori, dando luogo a sciame non costituiti soltanto di elettroni e fotoni. Non possiamo stimare la percentuale di particelle penetranti già presenti nell’aria; ci risulta però che la produzione locale è percentualmente maggiore negli sciame di minore densità. Nelle nostre condizioni sperimentali le particelle che costituiscono la componente penetrante ammontano a circa l’1% del numero totale delle particelle dello sciame esteso. Questa percentuale è definibile con precisione solo nell’ipotesi che le particelle penetranti siano già nell’aria, e che il processo di produzione locale porti un contributo trascurabile. A differenza di altri autori noi non riteniamo che questo sia il caso. Comunque la percentuale da noi valutata con gli stessi loro metodi è coerente con i loro risultati e si mantiene all’incirca

costante in gruppi di sciami di diversa densità media (da 330 particelle/m<sup>2</sup> a 130/m<sup>2</sup>). In prima approssimazione ci è possibile isolare gli eventi dovuti a produzione locale di particelle penetranti, e stabilire che anche per questi eventi il Ferro ed il Piombo sono circa equivalenti in g/cm<sup>2</sup>. Tutti i fatti da noi osservati non contraddicono l'ipotesi che la componente penetrante degli sciami dell'aria sia un miscuglio, in varie percentuali, di nucleoni e mesoni. Limitandoci alle particelle e alle interazioni sinora note, è da ritenere che le particelle che generano gli sciami negli schermi siano nucleoni (ed eventualmente mesoni  $\pi$ ); che questi sciami siano sciami penetranti e sciami misti; e che siano più probabilmente mesoni  $\mu$  le particelle penetranti già presenti nell'atmosfera, data la loro bassa interazione nucleare e l'elevata vita media. Dalle nostre misure, fatte ad una sola quota, non appaiono infine ragioni per introdurre nuove particelle (mesoni  $\lambda$ ) o nuovi processi (produzione di gruppi di particelle penetranti da fotoni: dobbiamo però ricordare che non disponiamo di argomenti sufficienti per una discussione in proposito" [S18].

Si trattava quindi di chiarire queste interazioni con altre esperienze; era necessaria per questo la camera di Wilson. Questo fu l'obiettivo delle nostre ricerche successive effettuate alla Testa Grigia sul Plateau Rosa del Monte Cervino, a tremilacinquecento metri.

Contemporaneamente al lavoro con Tagliaferri, io portai avanti a Milano e a Lago d'Inferno, una ricerca [S10] su "La distinzione delle componenti della radiazione cosmica e la frequenza relativa dei mesoni lenti", con l'appoggio dei tecnici dell'Istituto. Da queste misure si è ricavata, sino ad un momento di  $3 \cdot 10^8$  eV/c, la curva di assorbimento dei mesoni a Milano (120 m sul livello del mare) e a 2100 metri; si ricava come aumenta con l'altezza la frequenza dei mesoni lenti. La disposizione sperimentale impiegata è molto simile a quella presentata nel lavoro [S2]. Con essa si individuava nella radiazione cosmica il contributo preciso dei fotoni e degli elettroni che venivano dall'aria. Debbo ricordare che in Milano c'era una officina ben attrezzata, grazie all'opera, in lunghi anni di laboratorio e di insegnamento, di Polvani, Bolla, Cocconi. Questa ricerca venne premiata come il miglior lavoro pubblicato in quell'annata sul *Il Nuovo Cimento*.

Fermiamoci adesso un momento per ricordare la scoperta di Conversi, Pancini, Piccioni del 1947, che di fatto avviò alla scoperta dei mesoni  $\pi$  e orientò tutta la ricerca futura, sia la nostra alla testa Grigia che la mia, prima da solo, poi con mia moglie Costanza Catenacci e Young Kim negli Stati Uniti.

#### 4.4 La scoperta di Conversi, Pancini e Piccioni

La scoperta di Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni [11] si può considerare una svolta storica delle nostre conoscenze elettromagnetiche e nucleari. Per un chiarimento su di essa si può vedere il mio testo “La vita di Oreste Piccioni e la sua attività scientifica in Italia [6].

Noi milanesi non abbiamo merito di questa fondamentale scoperta; ma non c’è dubbio che quando arrivò nel 1948, essa orientò immediatamente le nostre ricerche, e permise di dare un quadro più completo della fisica alle altissime energie. Fatemi dire due parole su questa scoperta del gruppo di Roma.

Il ruolo dei mesoni  $\mu$  nella radiazione cosmica era veramente oscuro negli anni 1941–1946. Era da pensare che i muoni fossero prodotti ad alta quota nelle interazioni dei primari arrivati sull’atmosfera. Ma essi sembravano privi di interazioni nucleari nel loro sviluppo, piuttosto simili nel loro comportamento ad elettroni di massa maggiore. Questo rendeva difficile interpretarli come particelle nucleari prodotte nell’urto nucleone–nucleo.

C’è da dire che per merito del fisico teorico Yukawa, nel 1935, ben prima delle storie di raggi cosmici che stiamo trattando, si era avanzata l’ipotesi che potesse esistere una particella, positiva o negativa, che spiegasse le interazioni nucleari di alta energia. Divenne ovvio pensare per alcuni anni che i muoni fossero proprio i mesoni auspicati da Yukawa.

Poiché i mesoni prodotti erano sia di carica positiva che negativa, era da pensare che almeno i mesoni di carica negativa, non respinti dalla carica elettrica positiva dei nuclei, dovessero essere riassorbiti da tutti i nuclei alla fine del loro percorso.

Ebbene, Conversi, Pancini, Piccioni dimostrarono che non era così: anche i muoni negativi non vengono riassorbiti dai nuclei più leggeri. Questo risultato meravigliò i migliori fisici, sicché si pensò presto che occorreva un intermediario dotato di proprietà nucleari per legare i mesoni  $\mu$  alle forze nucleari. Furono mesi intensi, con nuove ricerche, particolarmente con la nuova tecnica delle emulsioni nucleari. La soluzione straordinaria e risolutiva venne fuori dalle osservazioni del gruppo di Bristol (C. M. Lattes, H. Muirhead, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell): i mesoni  $\mu$  – i muoni – sono il prodotto di decadimento dei veri mesoni nucleari, i pioni di Yukawa. Essi, i mesoni  $\mu$ , o muoni, sono privi di interazioni nucleari [12].

La catena è quella riportata in Figura 4.7: i pioni di Yukawa sono prodotti nelle interazioni nucleari, e quelli carichi hanno una vita media - a riposo -

di  $10^{-8}$  secondi; dal decadimento del pione nasce - insieme ad un neutrino - il mesone  $\mu$ , nuclearmente sterile.

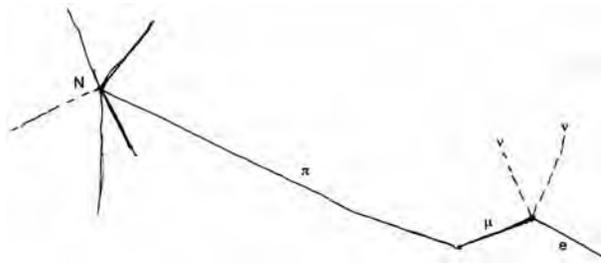


Figura 4.7: Decadimento del mesone  $\pi$ .

Erano dunque nati i pioni, rapidi, decisivi intermediari protagonisti delle vicende elettromagnetiche e nucleari della radiazione cosmica, e di tutti i processi cosmici ed astrofisici del nostro universo.

Questa realtà nuova venne immediatamente assimilata da noi milanesi, ed alle proprietà dei mesoni  $\pi$  (pioni) vennero dedicate le nostre ricerche successive, dalla fine del 1948 in poi.

## 4.5 Le ricerche alla Testa Grigia.

Le ricerche successive furono essenzialmente rivolte alle interazioni nucleari prodotte in camera di Wilson e negli assorbitori, essenzialmente di Carbonio e di Piombo. Esse si svolsero a partire dall'estate-autunno 1948 al Laboratorio della Testa Grigia, 3500 m sul livello del mare, Latitudine  $45^{\circ} 56'$  Nord, Longitudine  $7^{\circ} 46'$  Est. La prima serie di ricerche fu firmata da Lovati, Mura, Salvini e Tagliaferri. Si era aggiunto infatti al nostro gruppo il mio compagno di laurea (1942) Antonio Lovati [S14, S15, S19, S21]. Essi dimostrarono con evidenza la natura locale e nucleare delle interazioni non puramente elettromagnetiche degli sciami estesi.

Il quadro era ancora incompleto, ma ormai sufficientemente chiaro. Ne fa testimonianza il mio lavoro di sintesi "Sulla struttura degli sciami estesi dell'aria" [S20]. In questo lavoro sono riassunti i risultati sugli sciami estesi, ormai chiaramente definiti nella loro struttura complessa, chiarendo la funzione dei mesoni  $\pi$  e di altri possibili componenti nucleari, ed assumendo uno sviluppo in cascata anche per le esplosioni nucleari di energia elevata.

In questo sviluppo si è trovato un cammino libero medio per urto nucleare dell'ordine di trecento grammi per centimetro quadrato. A pagina 2 di questo lavoro io scrissi: “Le ricerche in camera di Wilson compiute da Lovati, Mura, Salvini e Tagliaferri dimostrano che le particelle penetranti prodotte in una esplosione nucleare (mesoni e nucleoni) possono dare luogo a nuove esplosioni simili alle precedenti (a parte la molteplicità e l'energia) e che il cammino libero medio per la produzione di nuove esplosioni, mediato tra tutte le particelle penetranti di una esplosione nucleare, è dell'ordine di trecento grammi per  $\text{cm}^2$ ”. E nel seguito è scritto ancora: “Le esplosioni nucleari si sviluppano in tal modo in cascata. . . I risultati finali di queste interazioni sono i mesoni  $\mu$ , e gli elettroni ed i fotoni; precisamente si trova che, per energie  $E_0$  molto grandi, almeno il 50% dell'energia viene spesa nella produzione di elettroni e di fotoni” [S20].

Retrospectivamente osservo che avrei dovuto dire: elettroni, fotoni, neutrini. Questa mia sintesi dell'attività di ricerca del nostro gruppo di Milano non può dare una sufficiente visione delle ricerche intense nel mondo, con camere di Wilson, camere di ionizzazione e con emulsioni nucleari. Una chiara sintesi dei risultati mondiali sulle interazioni nucleari dei raggi cosmici si trova nel libro di Bruno Rossi *High Energy particles*, al capitolo 8, alla pagina 388 e seguenti [8]). I nostri risultati pubblicati nel 1950 [S25] sono ivi discussi e messi a confronto con altri. Con queste ricerche, ormai distribuite su tutti i continenti si arrivò ad una descrizione coerente dello sviluppo e della natura dei raggi cosmici ad ogni energia e si delinearono i limiti dello sviluppo in cascata degli eventi nucleari in diversi elementi, Al, Pb, Fe. Possiamo qui osservare che l'evidenza delle proprietà nucleari delle interazioni locali era già stata messa in evidenza nel 1948 da nostri precedenti lavori [S14]. Ricordiamo che in quella fucina delle interazioni elementari non potevano mancare i neutroni: essi vennero osservati e studiati in alcune classiche misure di Vanna Tongiorgi, Giuseppe Cocconi e collaboratori [9].

Voglio qui riportare esempi dell'ampia testimonianza dei nostri lavori [S19, S21, S25, S26] riportata nel libro di G. D. Rochester e J. G. Wilson “Cloud chambers photographs of the Cosmic Radiation” [10] attraverso alcune nostre foto e le relative didascalie. Nella foto di sinistra della Figura 4.8 si vede una particella penetrante che interagisce nel quinto piatto (carbonio). Si osservano particelle penetranti, forse mesoni, ed almeno due protoni. Nella foto di destra si osserva una forte interazione in un piatto di piombo. Im-

mediatamente nei piatti successivi si sviluppa uno sciame elettromagnetico, dovuto ai mesoni neutri prodotti.

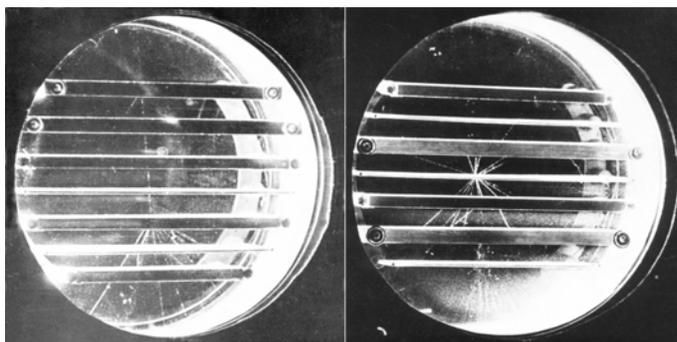


Figura 4.8: Interazione di una particella penetrante con l'assorbitore di carbonio (a sinistra) e sciame elettromagnetico generato nel piombo (Tavole 78 e 79 del lavoro [10]).

Queste fotografie furono prese alla Testa Grigia, ad una altezza di 3500 metri in una camera di Wilson di diametro 32 cm, illuminata per una profondità di 10 cm. La camera era comandata da una disposizione di contatori per selezionare gli sciami penetranti, secondo le indicazioni raccolte dai lavori precedenti. La disposizione scelta dei contatori ha favorito grandemente la rivelazione delle interazioni nucleari. La camera conteneva sette piani di assorbitori, di carbonio e di piombo. L'uso di piatti di ugual massa, ma di piombo e carbonio, era inteso a permettere un confronto dei prodotti di una interazione nucleare di nuclei di basso ed alto numero atomico in condizioni confrontabili.

Nella prima immagine della Figura 4.9 si vede uno sciame di particelle dell'aria, e una di esse produce un evento di alta energia nel secondo piatto, con particelle nucleari e uno sciame elettromagnetico prodotto. Nella seconda si vede l'arrivo di un intenso sciame dell'aria, con interazioni confuse nel primo piatto, e nucleari nel successivo.

Era evidente (siamo alla fine del 1949) che negli sciami della radiazione cosmica era presente una varietà di interazioni e che l'interpretazione era molto complessa. Questo spiega la tendenza mondiale, dagli anni cinquanta, a costruire acceleratori di alta energia in Europa e negli Stati Uniti. Questi risultati vennero ricordati e si inquadrarono chiaramente nelle analisi globali degli sciami in cascata di Bruno Rossi nel libro citato.

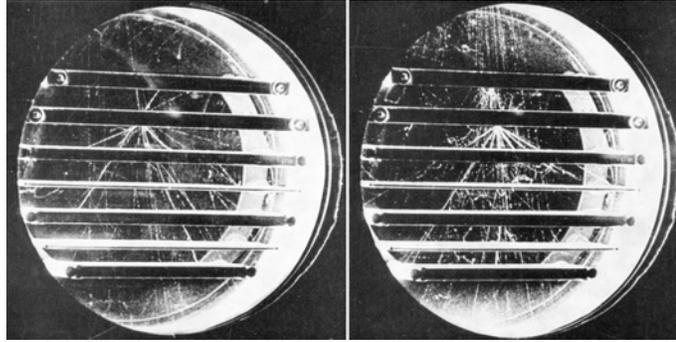


Figura 4.9: Eventi di alta energia con produzione, rispettivamente, di uno sciame elettromagnetico e arrivo di uno sciame dall'aria (Tavole 86 e 87 del lavoro [10]).

Voglio ricordare che il rapporto umano tra noi milanesi e tutti i fisici italiani e stranieri è stato sempre continuo ed amichevole, ognuno con il suo proprio carattere. Io forse ero il più impetuoso. So che devo molto ai miei colleghi ed amici di Milano, dai quali molto ho imparato. La camera di Wilson, che fu di fondamentale importanza nelle nostre scoperte del 1949, venne in particolare installata da Antonino Mura, che purtroppo morì nel 1951 per una insanabile malattia insorta per cause di guerra.

I nostri risultati in camera di Wilson apersero un problema di fondamentale interesse: studiare il modo di produzione delle nuove particelle nucleari (protoni, neutroni, pioni ed altri adroni) nell'urto nucleone-nucleo e fotone-nucleo ad alta energia. Si noti che l'urto elementare nucleone-nucleo in laboratorio (cioè urto protone-idrogeno) non era ancora disponibile; venne dopo il 1953, con il Cosmotrone di Brookhaven e le camere a bolle e a idrogeno.

Ho ancora nella memoria, durante un convegno sui raggi cosmici a Como nel 1949, una discussione accesa, tra due grandi della fisica delle particelle elementari, Werner Heisenberg e Walter Heitler sulla interpretazione di alcune foto in camera di Wilson raccolte da noi milanesi. La scelta alternativa era tra una cascata nucleare nello stesso nucleo, di nucleone in nucleone, senza produzione multipla di particelle nell'urto elementare nucleone-nucleone, e la possibilità di produzione multipla di più pioni in ciascun urto elementare. In realtà c'erano entrambi i fenomeni, ma nelle nostre foto non c'era ancora sufficiente evidenza di produzione multipla elementare, come Heisenberg cercava: i famosi *Jets*, previsti anche da Feynman, vennero osservati in



Figura 4.10: Basilea, 1949: Giorgio Salvini (al centro), Bruno Ferretti (a destra), Edoardo Amaldi (a destra, in seconda fila) e Guido Tagliaferri (a sinistra, in seconda fila); vicino a lui Antonio Lovati.

seguito. Questa evidenza divenne chiara più tardi, insieme alla scoperta dei bosoni  $W$ ,  $Z^0$  trenta anni dopo. Queste sono le famose ricerche dei gruppi UA1 e UA2 del CERN, alle quali ho partecipato con continuità dal 1979 al 1989. Esse sono riportate nel parziale elenco dei miei lavori qui allegato. Con esse si chiarì la fisica alle alte energie, analizzando sino ad una energia di 600 GeV nel centro di massa quelle interazioni protone-antiprotone che i raggi cosmici non potevano dimostrare.

## 4.6 L'invito negli Stati Uniti

Alla fine del 1949 io fui invitato negli Stati Uniti, e vi andai volentieri, perchè avevo voglia di cambiare e di vedere altre scuole. I miei colleghi continuarono quelle ricerche alla Testa Grigia e a Milano, con risultati ancora

brillanti.

Volevo anche costringermi ad una scelta definitiva tra due attività che avevo portato avanti nel 1946 – 1948: i raggi cosmici e lo studio delle reazioni nucleari a catena neutrone– nucleo di Uranio che avevano aperto la strada a nuove sorgenti di energia (reattori nucleari, esplosioni atomiche). Le notizie arrivate dall’America nel 1945–1946 dell’esplosione atomica a Hiroshima e a Nagasaki erano sconvolgenti, se non del tutto inattese. Insieme a Carlo Salvetti e a Mario Silvestri (1946) decidemmo di studiare la realizzazione di un reattore nucleare per usi pacifici. Il nostro esame portò alla conclusione che era possibile realizzare un prototipo di reattore nucleare in Italia, come fonte di energia elettrica per il Paese. Era assolutamente lontano da noi il pensiero di costruire una bomba nucleare, ma eravamo convinti che un Paese moderno doveva orientarsi ad avere reattori nucleari capaci, attraverso la scissione nucleare dei nuclei pesanti, di fornire una valida alternativa alla necessità di acquistare petrolio dai paesi più ricchi e dotati. Questa iniziativa sfociò nel CISE, Centro Italiano Studi ed Esperienze, fondato nel 1946 a Milano da Carlo Salvetti, Mario Silvestri, Giuseppe Bolla, direttore del Centro, e Giorgio Salvini. Di esso si è raccontato altrove in una ricca bibliografia. Ricordo in particolare il libro a cura di Giovanni Paoloni “Energia, ambiente, innovazione, dal CNRN all’ENEA” [13].

Tornando ai miei propositi di accettare l’invito americano, provo a dire il motivo ispiratore delle mie nuove ricerche negli Stati Uniti, e precisamente all’Università di Princeton, New Jersey. Io ricevetti l’invito per un anno, per due, per quanto volevo, da alcuni fisici americani, tra i quali John Wheeler e George Reynolds. Fui aiutato nella mia presentazione da Giuseppe Cocconi, Professore all’Università di Cornell, e da Bruno Rossi. Rossi era ormai famoso in America, dopo la sua cacciata dall’Italia nel 1938 per le vergognose leggi razziali fasciste, per i suoi fondamentali risultati sulla natura della radiazione cosmica, e sulla misura della vita media dei muoni. Compresi che non c’erano stretti limiti finanziari nella scelta dei mezzi sperimentali.

Era ormai chiaro che nello studio dei raggi cosmici si potevano trovare le leggi fisiche fondamentali del nostro Universo, elettromagnetiche, nucleari, forse gravitazionali. Occorrevano strumenti precisi per studiare la natura delle particelle, la loro probabilità di produzione, i cammini liberi medi, la molteplicità in quelle interazioni locali prodotte in arrivo negli assorbitori da noi preparati. Era aperto il problema dei cosiddetti pioni neutri: l’origine

#### 4. *Giorgio Salvini*

e l'abbondanza di produzione dei mesoni neutri, e come contribuiscono ai fotoni ed agli elettroni, abbondanti come componente isolata, e negli sciami estesi.

Nel novembre del 1949 arrivai per nave a New York e poi a Princeton, ove era già accesa una attività di raggi cosmici ancora priva di precisi orientamenti.

Io proposi un programma dettagliato, che era la continuazione del mio lavoro in Italia. Esso era centrato sulla generale natura della radiazione cosmica, con particolare riguardo alla rivelazione dei pioni carichi e neutri, e al loro contributo relativo alla produzione delle componenti elettromagnetiche degli sciami estesi. L'analisi attenta delle interazioni nucleari ed elettromagnetiche era ormai il problema aperto delle particelle elementari di alta energia. Per raggiungere questo obiettivo era necessario un nuovo strumento: una camera di Wilson che contenesse un rivelatore per segnalare gli eventi relativi a interazioni nucleari di qualsiasi energia. Montai uno strumento originale per questo scopo: una camera di Wilson comandata da cristalli di ioduro di sodio inseriti all'interno, osservati da fotomoltiplicatori che coi loro segnali comandavano l'espansione della camera. La camera aveva una regione illuminata di  $46 \times 46 \times 20$  cm<sup>3</sup>. La disposizione sperimentale è data in Figura 4.11.

Tre cristalli di ioduro di sodio ciascuno  $7 \times 10 \times 0.6$  cm<sup>3</sup> vennero usati come contatori a scintillazione. Erano avvolti con un foglio di alluminio e vetro, montati come si vede nella figura in un piatto di alluminio. La luce emessa dal cristallo era raccolta da sei fotomoltiplicatori 1P21. La tensione dei fotomoltiplicatori era regolata in modo da rivelare eventi che producessero una ionizzazione nel cristallo di almeno 12 MeV. Questa perdita di energia è molto più bassa della perdita di energia di una stella nucleare nel cristallo. D'altra parte è un valore che discrimina dagli abbondanti raggi cosmici come i mesoni  $\mu$ , che attraversano il cristallo con una perdita di energia minore di 4 MeV.

L'apparato funzionò subito, e piuttosto bene. A distanza di tempo mi meraviglio del mio troppo solitario coraggio sperimentale. Se fossi entrato in una squadra sperimentale, avrei fatto meglio, e forse avrei raggiunto maggiori risultati scientifici.

Il lavoro di preparazione e di imballaggio degli strumenti durò circa un anno, e nella primavera del 1951 ero pronto per la spedizione ad alta quota, sulle montagne del Colorado.

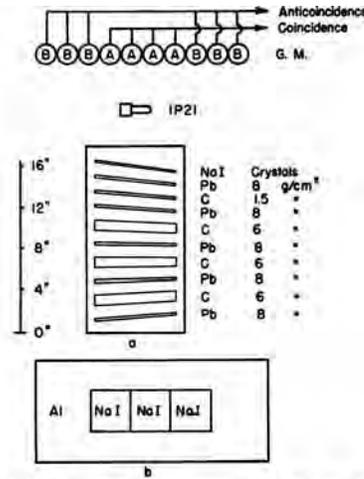


FIG. 1. (a) Crystals and plates assembly in the cloud chamber.  
(b) Top view of the Al plate containing the NaI crystals.

Figura 4.11: Disposizione sperimentale della camera di Wilson comandata da cristalli di ioduro di sodio (Figura 1 del lavoro [S29]).

Nell'aprile del 1951 ero tornato per un mese in Italia, e a Milano avevo sposato Costanza Catenacci. Tornai in America con lei, e portammo questa originale camera di Wilson all'osservatorio di raggi cosmici di Echo Lake, nel Colorado, a 3500 metri sul livello del mare. Mia moglie Costanza, brillante laureata in Fisica all'Università di Milano, relatore il prof. Carlo Salvetti, si dedicò insieme a me allo sviluppo e all'analisi dei dati. Furono mesi densi di risultati, faticosi, bellissimi nel ricordo di quelle montagne, delle nuove conoscenze, e degli scienziati incontrati.

Nel periodo di Echo Lake, e poi al mio ritorno a Princeton, mi affidarono un giovane fisico coreano, Young Kim, oggi si direbbe un dottorando. Egli imparò presto, lavorò con me e con lui pubblicai i lavori [S28] e [S29]. Era molto bravo. Negli anni sessanta Young Kim si è distinto negli Stati Uniti come fisico nel campo dello stato solido.

Le ricerche di Echo Lake portarono a precisi risultati sui mesoni  $\pi$  emessi nelle esplosioni nucleari. Si poté confermare che i pioni neutri si disintegravano essenzialmente in due fotoni, ed erano la fonte principale della cascata elettromagnetica degli sciami estesi, come i pioni positivi e negativi erano la fonte dei mesoni  $\mu$  e dei neutrini.

4. Giorgio Salvini



Figura 4.12: Giorgio Salvini e Costanza Catenacci durante una gita nel 1951 (Echo Lake, Colorado).

Si potè confermare che la frequenza dei pioni nelle interazioni nucleari di alta energia concordava con le previsioni di Enrico Fermi. In particolare scrivemmo nella nostra nota: “The neutral  $\pi^0$  mesons are definitely the main source of the photons associated with the nuclear events. An upper limit for the number of photons associated with nuclear events, having an origin other than  $\pi^0$  decay can be set at 20%. The predictions of Fermi concerning the cross section for production of the nuclear and charged pions are confirmed. The value of the cross section for production of at least one neutral  $\pi$  meson is about 0.1–0.2 of the geometrical for incident

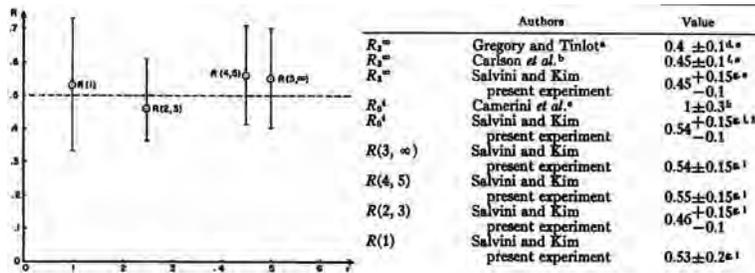


Figura 4.13: A sinistra: rapporto tra mesoni neutri e mesoni carichi in funzione della molteplicità per particelle relativistiche (Fig. 6 del lavoro [S28]). A destra: valori di R ottenuti da diversi autori (Tabella II del lavoro [S28]).

protons of 1–2 BeV. In particular – as shown in Fig. 6 [Figura 4.13] of our quoted article – the Ratio  $R=\pi^0/(\pi^++\pi^-)$  of the total number of neutral mesons to the total number of charged mesons is close to 0.5 for multiplicities ranging from one to 5 or six, that is for different energies of the producing photons between 2 and 20 BeV. This result agrees with almost all the results of previous experiments, when these are corrected for the bias introduced in the selection of the events. The behaviour of  $R$  *versus* the multiplicity of relativistic particles is given in Fig. 6 [Figura 4.13]. The total energy distribution of the neutral pions seems to be close to the total energy distribution of the charged mesons” [S28].

Nella Figura 4.14 si riportano alcuni degli eventi osservati. In particolare, nella foto di destra risulta visibile un evento prodotto nel primo piatto di piombo. Questo mostra come i cristalli potevano costituire un efficiente rivelatore anche per interazioni prodotte fuori di esso.

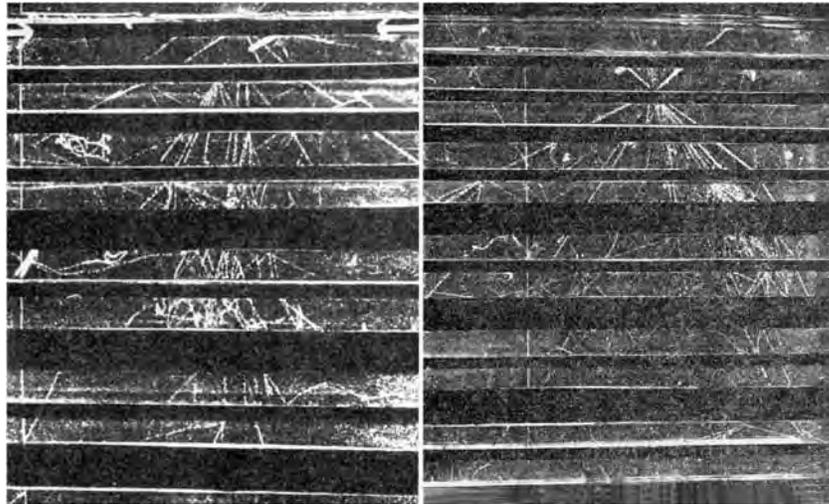


Figura 4.14: A destra: evento nucleare con creazione di un  $\pi^0$  di energia superiore a 1000 MeV (Fig. 7 del lavoro [S29]).

In Figura 4.15 è riportata l’immagine della nostra camera di Wilson, e degli autori, Giorgio Salvini e Young Kim. Questi erano gli ultimi risultati delle mie ricerche dirette sui raggi cosmici. Ma prima di chiudere questo racconto del mio periodo 1945–1952, debbo ricordare due miei risultati sui

#### 4. *Giorgio Salvini*

nuovi rivelatori di particelle, uno ottenuto a Milano nel 1946; l'altro negli Stati Uniti, appena arrivato in Princeton, nel 1949.



Figura 4.15: Giorgio Salvini e Young Kim.

### 4.7 Nuovi rivelatori di raggi cosmici

A Milano, prima e durante le ricerche a Lago d'Inferno (1946–1948), lavorammo sui contatori di Geiger–Müller. Essi erano tradizionalmente tubi cilindrici di ottone, attraversati da un filo, chiusi agli estremi con tappi di piceina: era una tecnica ereditata da Giuseppe e Vanna Cocconi, e dai romani. La tenuta di vuoto era garantita per alcuni mesi. Noi pensammo, su suggerimento di Giuseppe Bolla, di chiudere i nostri contatori di Geiger, cilindri di ottone, in un involucro di vetro ad alta tenuta di vuoto, con fili che uscivano con opportune saldature rame – vetro per collegarci agli amplificatori e alle coincidenze esterne. Io imparai l'arte della saldatura vetro metallo a Milano, presso vetrerie specializzate.

Questa nuova disinvoltura tecnica ci permise di variare le forme dei nostri

contatori. In particolare sviluppai contatori di Geiger di forma sferica, come indicato in Figura 4.16.

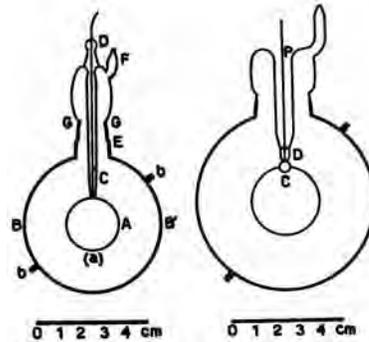


Figura 4.16: Contatori Geiger–Müller di forma sferica.

Questi contatori vennero da me pubblicati sulla rivista americana *Review of Scientific Instruments* [3] e [9]. Essi vennero impiegati per rivelare le particelle ionizzanti che arrivavano da una ampia regione angolare, pari all'angolo giro o a metà di esso. Si poté verificare che essi avevano alta efficienza in tutte le direzioni. Questi contatori sferici e proporzionali vennero impiegati a Milano nello studio della scissione dell'Uranio, per misurare i neutroni emessi nella scissione.

L'altro risultato (scintillatori liquidi) è più notevole per l'impiego che ebbe, e va diviso tra più autori. Conviene ricordarlo con ordine. Esso venne pubblicato a nome F. Harrison, G. Reynolds, e G. Salvini quale lettera all'Editore su *Physical Review Letters* col titolo "Liquid scintillation counters" [S23].

La scoperta discende da osservazioni sulla fluorescenza di alcune soluzioni da parte di Ageno, Chiozzotto e Querzoli [14]; noi pensammo di esaminare la fluorescenza con fotomoltiplicatori e provammo varie soluzioni in un liquido opportuno. Il nostro fine era di trovare oggetti che si potessero utilizzare per la loro fluorescenza in modo simile agli ormai classici cristalli fluorescenti di ioduro di Sodio.

La nostra disposizione per osservare le scintillazioni nel campione è visibile nella Figura 4.17.

Si misuravano le coincidenze tra fotomoltiplicatori tipo 1P21 disposti ai lati del campione, registrando i raggi cosmici e la radioattività di ambiente. Il

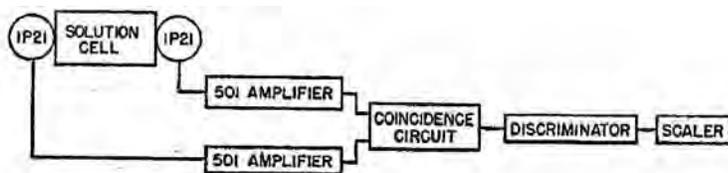


FIG. 1. Coincidence method for measurement on solutions and crystals.

Figura 4.17: Figura 1 del lavoro [S23].

LIQUID OR SOLUTION	EFFICIENCY
Benzene	0.7
Benzene at 70°C	0.7
Ether	0.7
M-Xylene	0.08
Naphtalene (40g) in Benzene (100 cc )	0.15
Naphtalene (35 g) + Anthracene (0.35 g) in Benzene (90 cc)	0.36
Terphenyl (2g) in Benzene (100 cc) at 60°C	0.84
Terphenyl (0.5 g) in M-Xylene (100 cc)	0.80
Liquid Dybenzyl at 60°C	0.4
Naphtalene crystal	0.87

Tabella 4.1: “Efficienza” delle varie soluzioni (a temperatura ambiente, in assenza di indicazione diversa). Tabella 1 del lavoro [A1].

confronto era fatto con un cristallo solido di naftalina, di proprietà già note. Il vantaggio era l'estensione e la libertà di forma nei liquidi in situazioni sperimentali comunque complicate. Qui venne a noi un suggerimento decisivo da parte di R. Hofstadter: sciogliere del terfenile nel benzolo. Fu la mossa fondamentale, perché osservammo una sensibilità alla fluorescenza da parte delle particelle ionizzanti, definitivamente maggiore che in ogni altro caso, ormai confrontabile con il cristallo di naftalina. Il risultato è visibile nella Tabella 4.7.

Di questa sensibilità straordinaria si rese immediatamente conto Enrico Fermi, al quale raccontammo i nostri risultati all'inizio del 1950, durante una sua visita a Princeton: egli infatti usò i nostri scintillatori al terfenile nelle sue classiche ricerche sulle risonanze pione-protone del 1953 [15]. Questa nostra scoperta venne brevettata dall'Università di Princeton, ma non produsse per noi vantaggi economici. Il modo ed i riconoscimenti dei nostri rivelatori liquidi vennero ricordati in una mia memoria non pubbli-

cata e in una nota pubblicata di Hofstadter. Riporto in appendice il testo della nota da me scritta nel febbraio 2005 in cui si ricordano i meriti di vari protagonisti, quali risultano da un convegno tenuto nel 1982 a Parigi [*Colloque International sur l'Histoire de la Physique des Particules, Journal de Physique, Suppl.* (Paris) 43 (2) 1982].

Gli scintillatori liquidi vennero usati nella radiazione cosmica ed in particolare nella rivelazione degli sciami estesi di grande energia (B. Rossi e collaboratori). Essi vennero successivamente soppiantati dagli scintillatori plastici, anch'essi facilmente adattabili ad ogni occorrenza. Ritorno adesso alle mie ricerche sui raggi cosmici

## 4.8 Alcune considerazioni sui raggi cosmici

Nel 1951, in ottobre, tornai con Costanza da Echo Lake a Princeton. I miei risultati di Echo Lake vennero presentati e apprezzati dai colleghi e dai maestri di Princeton: Wheeler, Wigner e Einstein.

In quello stesso periodo mi invitarono a partecipare a un concorso a cattedra di fisica, in Italia. Vinsi il concorso nel 1951; non avevo ancora trentun anni. Mi ritrovai con l'offerta di una cattedra a Cagliari. Decisi con Costanza di ritornare in Italia. Credo di aver avuto in mente vari e un po' confusi progetti. Furono le numerose rapide vicende successive della storia scientifica italiana, che giustificarono le mie scelte. Venni subito invitato a Cagliari, a Pisa, e a Milano. Nel 1955 venni chiamato a Roma, che divenne e rimase la mia sede finale.

I miei ricordi degli anni in America sono vivissimi, e sono grato alla mia sorte. Conobbi tutti i maggiori fisici americani o residenti in America, e fui in rapporto abbastanza continuo con loro: Wigner, Oppenheimer, Wheeler, e sopra tutti Bruno Rossi ed Enrico Fermi. Avevo già incontrato Fermi, in occasione del convegno di Como e di Basilea. Anzi, ricordo il commovente incontro tra Fermi ed Heisenberg. Fermi entrava da una parte dell'Aula Magna, Heisenberg dall'altra. Si erano ben conosciuti da giovani, non si erano più visti, mi pare, per la separazione della guerra. Fu un grande incontro, poco dopo si aggiunse anche Wolfgang Pauli. Rividi Fermi nel 1950 a Princeton, come ho ricordato, raccontandogli dei miei rivelatori liquidi. Quanto a Rossi, io ho avuto la ventura di godere delle sue intuizioni, e della sua sapienza.

Mi si è chiesto, al mio lasciare l'America, e al mio ritorno in Italia, perché

#### 4. *Giorgio Salvini*

fossi tornato, e perché non fossi stato tentato dalla possibilità di restare negli Stati Uniti. Quando dissi a Princeton di voler tornare in Italia, mi fecero delle controfferte. Ma io pensai che non potevo non accettare la cattedra in Italia. Il mio paese mi aveva generosamente sostenuto, e così decisi di tornare. Come se facessi un dono al mio Paese, tanto ero sciocco e presuntuoso. In realtà oggi, a distanza di tempo (dopo più di cinquant'anni) debbo dire che fui io il fortunato.

Al mio ritorno in Italia, due grandi maestri fisici, come Gilberto Bernardini ed Edoardo Amaldi, pensarono che fossi io l'uomo adatto per fare una nuova macchina ed un nuovo laboratorio in Italia. Oggi sapete che questa fu una buona scelta, e che le cose andarono piuttosto bene. Quindi io mi debbo considerare per la terza volta un uomo fortunato. Altri avrebbero forse fatto meglio di me; è capitato a me. Debbo dire, ripensandoci, che in quegli anni ho visto poche persone lavorare con intensità, cocciutaggine, come me. Credo di essere stato un po' in quegli anni una furia lanciata. Non parliamo di qualità scientifiche eccezionali, per carità, ma piuttosto di volontà, curiosità, ambizione, e del sostegno di Costanza.

Adesso, a distanza di sessanta anni dai miei inizi, vedo in quel periodo dei raggi cosmici nel quale ho avuto la fortuna di operare, gli anni 1945–1952, una posizione enorme nella storia della fisica, della quale ho ben piccolo merito. In quegli anni i raggi cosmici sciolsero ogni loro mistero: scoprirono pioni e mesoni, aprirono il quadro delle particelle oggi inquadrato nello Standard Model, offrirono alle macchine di alta energia intervenute dopo il 1952, un quadro ormai limpido dei costituenti elementari del nostro Universo.

Certo, sentii il dolore del commiato, la notte della partenza, quando Costanza ed io salutammo Princeton nel 1952 come degli esuli. Non sapevo che ci sarei tornato presto, anche in relazione alla costruzione dell'Elettrosincrotrone italiano. E non sapevo che mia figlia Paola, che Costanza aveva in grembo, dopo ventiquattro anni sarebbe andata proprio a Princeton, sposata ad un altro italiano, destinato a diventare un notevole fisico; e non sapevo che Princeton sarebbe rimasta a noi cara per tutti gli anni futuri. Lasciavamo l'America con dei programmi ancora aperti, e la fiducia di futuri, continui contatti scientifici.

Come ho già ricordato nella mia introduzione, ho avuto il privilegio di partecipare alle ricerche sui raggi cosmici nei loro anni d'oro, 1945–1952, sino a quando la fisica delle particelle elementari è entrata nella sua pri-

ma maturità, per dare mandati precisi alla nascente fisica dei laboratori e degli acceleratori di grande energia per elettroni e protoni. Termina qui il racconto esteso sulla mia attività nei raggi cosmici.

Il racconto che precede, con appendice e riferimenti bibliografici, si riferisce alla mia attività fino al 1952.

## 4.9 Dopo i raggi cosmici: 1952–2006

Mi sembra conveniente dare una sintesi delle mie ricerche successive, dal 1951 al 2006, che si estendono almeno a tutto il XX secolo e che sono forse più estese ed interessanti. Esse sono scandite in diversi periodi.<sup>1</sup>

### 4.9.1 Fotoproduzione e interazione elettrone–positrone

I lavori per realizzare l'Elettrosincrotrone italiano iniziarono a Pisa e Roma nel 1952, quando la sede finale, che fu poi Frascati, non era ancora stata scelta. Alla fine del 1958, una volta messa a punto la macchina, i Laboratori Nazionali di Frascati iniziarono i loro lavori di ricerca fondamentale con il sincrotrone a 1100 MeV. La costruzione e i primi successi sono ricordati nel volume *L'Elettrosincrotrone di Frascati* [16].

Tra queste ricerche ricordo in particolare i lavori dedicati alla polarizzazione del protone di rinculo nella fotoproduzione di mesoni a 800–900 MeV [44, 45, 47, 48], e le ricerche sui nuovi mesoni Eta, in particolare la sezione d'urto e l'attribuzione dei numeri quantici [54, 55, 57, 59, 62, 63, 67].

Per quanto riguarda le interazioni elettrone–positrone, mi riferisco agli anelli di accumulazione elettrone–positrone entrati in funzione con il primo prototipo AdA e con l'anello Adone che iniziò l'attività nel 1971. Il sottoscritto partecipò alla progettazione di Adone, e preparò con altri gruppi di lavoro a Frascati l'analisi sperimentale dei processi d'urto elettrone–positrone con produzione di adroni. Questo problema apparve subito di estremo interesse per tutti i fisici delle particelle elementari: si trattava di verificare con quale frequenza si producono mesoni carichi e neutri nell'urto elettrone-positrone. Che ci fosse produzione di mesoni nell'urto  $e^+e^-$  era cosa già osservata, ma era di notevole importanza verificare il modo di produzione multipla di

---

<sup>1</sup>Si veda anche il colloquio di G. Salvini con L. Bonolis pubblicato nel volume *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero* [17].



Figura 4.18: Giorgio Salvini accompagna la principessa Grace e il principe Ranieri di Monaco, in visita ai Laboratori Nazionali di Frascati il 6 novembre 1959 (Archivio Foto Video L.N.F.).

più mesoni nell'urto tra leptoni, e confermare la contemporanea creazione in quelle formazioni che presero il nome di *Jet* adronici.

La verifica della produzione multipla di adroni venne nel 1971–1972 da Frascati, e in particolare ricordo i miei lavori, in collaborazione con altri, dedicati alla chiara evidenza di essa [S72, S73, S76]. In quegli stessi anni si studiarono i processi di interazione fotone–fotone a varie energie (Lavori del gruppo  $\gamma\gamma$ ) che tornarono in accordo con le previsioni teoriche.

Nel 1974 venne, inattesa per tutti, la scoperta della  $J/\Psi$ . È di quegli anni la comprensibile amarezza per non avere osservato la famosa risonanza a 3100 MeV. Frascati lasciò un suo documento [S76] Ma dichiarò correttamente che l'osservazione di questa risonanza era avvenuta dopo essere stati allertati

dai gruppi scopritori. Ho detto amarezza, ma non mi sento di associare la mancata osservazione ad alcun senso di colpa. Nessuno, dico nessuno, poteva sospettare che a pochi passi (a pochi MeV) fuori dei limiti stabiliti di 3 GeV faticosamente conquistati da Adone, esistesse un Eldorado di inattese conoscenze che ha alimentato per anni gli studi dei nostri e di altri gruppi.

#### 4.9.2 Scoperta e proprietà dei Bosoni intermedi $W^\pm$ e $Z^0$

La storia di UA1 è la storia della scoperta dei bosoni intermedi  $W^\pm$  e del Bosone neutro  $Z^0$ . Ricordo bene la gioia del gruppo UA1 per queste scoperte. Esse erano in realtà attese dalla comunità teorica mondiale, ma fecero apparire ormai prossimo il fine di chiudere in una rappresentazione unitaria il mondo delle particelle note e della struttura dell'Universo. In quegli anni ottanta, aprendo la finestra e guardando il cielo e la Galassia e le stelle, molti pensarono che il più era ormai fatto e non molto ancora restava da scoprire. Sono bastati gli anni critici e attenti, dal 1980 ad oggi, per scoprire che la maggior percentuale della materia del nostro Universo è fatta di una materia ancora ignota.

Un merito di UA1 è l'aver presentato i risultati con magnifiche immagini dirette degli oggetti osservati.

I lavori di UA1 pubblicati in quegli intensi anni 1978–1991 sono riportati nell'acclusa bibliografia dal numero [S80] al numero [S100]. Ritengo conveniente riportare i nomi della squadra italiana che rimase compatta per molti anni. Prendo ad esempio il lavoro [S90] del luglio 1983, che è ricordato nella sua presentazione originale in Figura 4.9.3.

In realtà esso è ormai un documento storico, che illustra lo stile del CERN in quegli anni notevoli, che hanno portato l'Europa di nuovo al primissimo piano nel panorama delle ricerche fisiche mondiali.

La squadra italiana al CERN, come si vede, era formata da vari e stabili individui. Tra essi spicca il nome di Carlo Rubbia, che in un certo senso è l'immagine del CERN e dell'Europa. A lui spetta, insieme a Van der Meer, un giusto rilievo su tutti gli altri.

#### 4.9.3 Altri impegni (1990–2006)

Gli anni successivi, dal 1995 ad oggi, sono stati dedicati all'insegnamento, e al dovere universitario di rinnovamento degli studi e dei programmi.

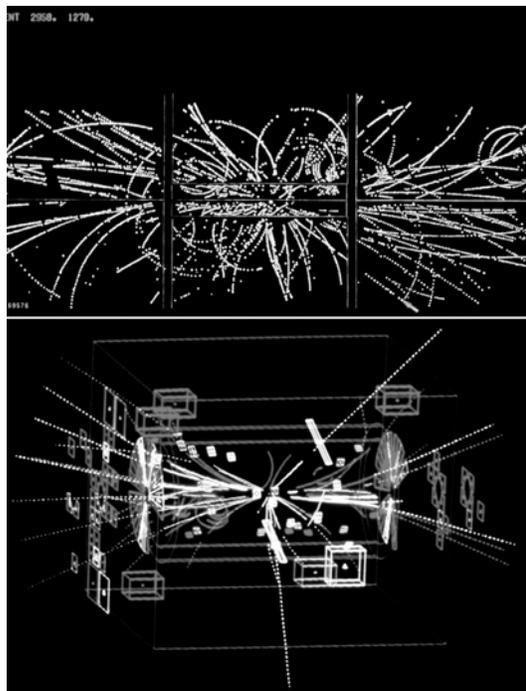


Figura 4.19: Foto in alto: Scoperta della particella W nel rivelatore UA1 in collisioni protone–antiprotone (ottobre–dicembre 1982). Foto in basso, 30 aprile 1983: decadimento di una particella  $Z^0$  in una coppia elettrone–positrone, primo evento in cui la particella è stata visualizzata da UA1 (Foto CERN).

Nel 1994–1996 fui nominato Ministro per la Ricerca scientifica e per l’Università nel governo Dini. Mi dedicai a vari problemi, ma in particolare alla ripresa dei concorsi universitari, per la nomina di ricercatori e di professori di ogni ordine. È stato un lavoro difficile, coronato da significativi successi, per riordinare posizioni universitarie carenti da molti anni.

Adesso vorrei fare un esercizio di ciò che mi è venuto, in questi ultimi sessant’anni di ricerca. Cercherò di guardare, come da un terrazzo, i diversi sviluppi della mia vita, a partire da quel 1952, quando finì il mio periodo dei raggi cosmici.

Gli sviluppi della fisica dei fotoni e dei nuovi mesoni è stata tutta inattesa, pur con illuminazioni dal campo teorico. Si può forse pensare che la ricostruzione dei quark e dei leptoni sia stato un ammirevole lavoro dell’ingegno

umano. Ma il 1973, con la scoperta della  $J/\Psi$  arrivò a noi inattesa – massa e significato – e fu un inatteso balzo in avanti.

Volume 126B, number 5      PHYSICS LETTERS      7 July 1983

**EXPERIMENTAL OBSERVATION OF LEPTON PAIRS OF INVARIANT MASS AROUND 95 GeV/c<sup>2</sup> AT THE CERN SPS COLLIDER**

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

G. ARNISON<sup>1</sup>, A. ASTBURY<sup>1</sup>, B. AUBERT<sup>b</sup>, C. BACCI<sup>1</sup>, G. BAUER<sup>1</sup>, A. BÉZAGUET<sup>d</sup>, R. BÖCK<sup>d</sup>, T.J.V. BOWCOCK<sup>f</sup>, M. CALVETTI<sup>d</sup>, P. CATZ<sup>b</sup>, P. CENNINI<sup>d</sup>, S. CENTRO<sup>d</sup>, F. CERADINI<sup>d,i</sup>, S. CITTOLIN<sup>d</sup>, D. CLINE<sup>1</sup>, C. COCHET<sup>k</sup>, J. COLAS<sup>b</sup>, M. CORDEN<sup>c</sup>, D. DALLMAN<sup>d,i</sup>, D. DAU<sup>2</sup>, M. DeBEER<sup>k</sup>, M. DELLA NEGRA<sup>b,d</sup>, M. DEMOULIN<sup>d</sup>, D. DENEGRI<sup>k</sup>, A. Di CIACCIO<sup>1</sup>, D. DiBITONTO<sup>d</sup>, L. DOBRZYNSKI<sup>g</sup>, J.D. DOWELL<sup>c</sup>, K. EGGERT<sup>a</sup>, E. EISENHANDLER<sup>f</sup>, N. ELLIS<sup>d</sup>, P. ERHARD<sup>a</sup>, H. FAISSNER<sup>a</sup>, M. FINCKE<sup>2</sup>, G. FONTAINE<sup>g</sup>, R. FREY<sup>h</sup>, R. FRÜHWIRTH<sup>1</sup>, J. GARVEY<sup>c</sup>, S. GEER<sup>g</sup>, C. GHESQUIÈRE<sup>g</sup>, P. GHEZ<sup>b</sup>, K. GIBONI<sup>a</sup>, W.R. GIBSON<sup>f</sup>, Y. GIRAUD-HÉRAUD<sup>g</sup>, A. GIVERNAUD<sup>g</sup>, A. GONIDEC<sup>b</sup>, G. GRAYER<sup>1</sup>, T. HANSL-KOZANECKA<sup>a</sup>, W.J. HAYNES<sup>1</sup>, L.O. HERTZBERGER<sup>3</sup>, C. HODGES<sup>h</sup>, D. HOFFMANN<sup>a</sup>, H. HOFFMANN<sup>d</sup>, D.J. HOLTHUIZEN<sup>3</sup>, R.J. HOMER<sup>c</sup>, A. HONMA<sup>f</sup>, W. JANK<sup>d</sup>, G. JORAT<sup>d</sup>, P.I.P. KALMUS<sup>f</sup>, V. KARIMÁKI<sup>c</sup>, R. KEELER<sup>f</sup>, I. KENYON<sup>c</sup>, A. KERNAN<sup>h</sup>, R. KINNUNEN<sup>e</sup>, W. KOZANECKI<sup>h</sup>, D. KRYN<sup>d,g</sup>, F. LACAVA<sup>1</sup>, J.-P. LAUGIER<sup>k</sup>, J.-P. LEES<sup>b</sup>, H. LEHMANN<sup>a</sup>, R. LEUCHS<sup>a</sup>, A. LÉVÉQUE<sup>k,d</sup>, D. LINGLIN<sup>b</sup>, E. LOCCI<sup>k</sup>, J.-J. MALOSSE<sup>k</sup>, T. MARKIEWICZ<sup>d</sup>, G. MAURIN<sup>d</sup>, T. McMAHON<sup>c</sup>, J.-P. MENDIBURU<sup>g</sup>, M.-N. MINARD<sup>h</sup>, M. MOHAMMADI<sup>1</sup>, M. MORICCA<sup>1</sup>, K. MORGAN<sup>h</sup>, H. MUIRHEAD<sup>a</sup>, F. MULLER<sup>d</sup>, A.K. NANDI<sup>1</sup>, L. NAUMANN<sup>d</sup>, A. NORTON<sup>d</sup>, A. ORKIN-LECOURTOIS<sup>g</sup>, L. PAOLUZI<sup>f</sup>, F. PAUSS<sup>d</sup>, G. PIANO MORTARI<sup>1</sup>, E. PIETARINEN<sup>e</sup>, M. PIMIÁ<sup>c</sup>, A. PLACCI<sup>d</sup>, J.P. PORTE<sup>d</sup>, E. RADERMACHER<sup>a</sup>, J. RANSEDELL<sup>h</sup>, H. REITHLER<sup>a</sup>, J.-P. REVOL<sup>d</sup>, J. RICH<sup>k</sup>, M. RIJSSENBEEK<sup>d</sup>, C. ROBERTS<sup>1</sup>, J. ROHLF<sup>d</sup>, P. ROSSI<sup>d</sup>, C. RUBBIA<sup>d</sup>, B. SADOULET<sup>d</sup>, G. SAJOT<sup>g</sup>, G. SALVI<sup>f</sup>, G. SALVINI<sup>1</sup>, J. SASS<sup>k</sup>, J. SAUDRAIX<sup>k</sup>, A. SAVOY-NAVARRO<sup>k</sup>, D. SCHINZEL<sup>d</sup>, W. SCOTT<sup>1</sup>, T.P. SHAH<sup>1</sup>, M. SPIRO<sup>k</sup>, J. STRAUSS<sup>1</sup>, J. STREETS<sup>c</sup>, K. SUMOROK<sup>d</sup>, F. SZONCSO<sup>1</sup>, D. SMITH<sup>h</sup>, C. TAO<sup>3</sup>, G. THOMPSON<sup>f</sup>, J. TIMMER<sup>d</sup>, E. TSCHESLOG<sup>a</sup>, J. TUOMINIEMI<sup>e</sup>, B. Van ELK<sup>3</sup>, J.-P. VIALLE<sup>d</sup>, J. VRANA<sup>g</sup>, V. VUILLEMIN<sup>d</sup>, H.D. WAHL<sup>1</sup>, P. WATKINS<sup>c</sup>, J. WILSON<sup>c</sup>, C. WULZ<sup>1</sup>, G.Y. XIE<sup>d</sup>, M. YVERT<sup>b</sup> and E. ZURFLUH<sup>d</sup>

Aachen<sup>a</sup> – Annecy (LAPP)<sup>b</sup> – Birmingham<sup>c</sup> – CERN<sup>d</sup> – Helsinki<sup>e</sup> – Queen Mary College, London<sup>f</sup> – Paris (Coll. de France)<sup>g</sup> – Riverside<sup>h</sup> – Rome<sup>1</sup> – Rutherford Appleton Lab.<sup>1</sup> – Saclay (CEN)<sup>k</sup> – Vienna<sup>h</sup> Collaboration

Received 6 June 1983

We report the observation of four electron-positron pairs and one muon pair which have the signature of a two-body decay of a particle of mass  $\sim 95$  GeV/c<sup>2</sup>. These events fit well the hypothesis that they are produced by the process  $\bar{p} + p \rightarrow Z^0 + X$  (with  $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$ ), where  $Z^0$  is the Intermediate Vector Boson postulated by the electroweak theories as the mediator of weak neutral currents.

<sup>1</sup> University of Wisconsin, Madison, WI, USA.      <sup>3</sup> NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands.  
<sup>2</sup> University of Kiel, Fed. Rep. Germany.      <sup>4</sup> Visitor from the University of Liverpool, England.

Figura 4.20: Collaborazione UA1. Annuncio della scoperta dello  $Z^0$ .

Il periodo 1975–1985, che ci portò, con  $W^\pm$  e  $Z^0$  allo Standard Model fu un periodo tranquillo, dove parve che la fisica fosse una scienza ormai domata. Quanto al mio impegno del 1994–1995 come ministro, posso dire che l'invito ad entrare nel governo mi venne assolutamente inatteso, qualcosa che orientò la mia vita in una direzione mai considerata. Comunque, mi dedicai al problema.

Ma eccoci agli anni duemila, per dire che è nata nella scienza una nuova fase, quasi strisciante, ma pur affascinante: non sappiamo cosa ci sia oltre lo Standard Model. Molti fisici parlano di particelle inattese supersimmetriche; altri non vedono ragioni sufficienti per prevederle. Una teoria suggestiva è nata che vuole capire insieme le forze gravitazionali, nucleari, elettrodeboli. È la teoria delle stringhe, sulla validità della quale non so oggi scommettere.

Penso, con qualche nostalgia legata alla mia crescente età, che non sia oggi prevedibile a che punto saremo tra cinquant'anni. Insomma, non sappiamo con precisione cosa dire della struttura particellare dell'Universo.

E non tratto il problema della origine dell'Universo etc., per il quale è stata coniata la parola inflazione, bellissima, suggestiva, ma ancora priva di solido contenuto.

Noi non possiamo prevedere il nostro futuro, che nessuno ha ancora scritto. Navighiamo in una estesa incertezza che a volte mi appare piena di luce. Guardando al passato, possiamo capire il lavoro immenso fatto dei nostri avi e possiamo capire che presto i nostri nipoti sapranno più di noi. E forse possiamo sperare che prevalgano in noi nel corso dei millenni un'etica ed una capacità di rispetto e di altruismo che possano fermare i pericoli che oggi ci minacciano.

## **Appendice**

### **Gli scintillatori liquidi. I meriti della nostra scoperta.**

La comparsa degli scintillatori liquidi nella ricerca scientifica è molto interessante e complessa. Essa è stata il risultato di una sistematica ricerca delle migliori soluzioni di liquidi capaci di rivelare le particelle cariche. Queste particelle avrebbero potuto sostituire i cristalli solidi ormai impiegati da tempo, con grande vantaggio nella scelta delle dimensioni e della forma. La ricerca delle migliori soluzioni fu improvvisamente dominata da una soluzione particolare, anzi da un composto organico, il terfenile (terphenyl), che ha dato risultati straordinariamente elevati [A1]. Racconterò ora le scoperte e le applicazioni, particolarmente riferendomi alla mia testimonianza diretta.

Nel 1950 ero all'Università di Princeton invitato come ricercatore in Fisica.

Vi ero arrivato alla fine del 1949. Fermi era venuto a Princeton per un incontro con Wigner, Einstein ed altri teorici dell'*Institute for Advanced Studies*. La mattina, a colazione, lo incontrai ed egli mi chiese delle nostre ricerche sui raggi cosmici a Milano e a Princeton.

Proprio in quei giorni noi di Princeton con G. Reynolds e F. B. Harrison avevamo scoperto la straordinaria capacità di alcuni scintillatori liquidi [A1]. Era un risultato, come correttamente citai nel nostro primo lavoro, che derivava dalle ricerche sulle soluzioni effettuate da Ageno, Querzoli e Chiozzotto all'Istituto di Sanità, a Roma [A2]. Ma a noi accadde di “mettere le mani” su una soluzione particolare, la cui base era il terphenyl. La Tabella 4.7, pubblicata nel nostro primo lavoro, evidenzia immediatamente la portata della nostra scoperta: in essa sono riportate le “efficienze” di varie soluzioni, e spicca la superiorità netta delle soluzioni con terfenile, rispetto a tutte le altre sperimentate. Si noti che questa superiorità si mantenne in tutte le altre ricerche, come venne confermato dai lavori degli altri autori che citeremo. Fermi ascoltò i nostri risultati, e su un pezzo di carta prese nota dell'apparato sperimentale e della chimica piuttosto complicata. In particolare prese nota del “magico” terphenyl. Il nostro risultato uscì su *Physical Review Letters* [A1] nel mese di marzo di quell'anno 1950, e fu coperto subito da brevetto a nome nostro e dell'Università di Princeton.

Restai in America sino al marzo 1951. In America feci ricerche sui mesoni carichi e neutri della radiazione cosmica, impiegando una camera di Wilson comandata dalle interazioni adroniche rivelate con scintillatori solidi di ioduro di sodio. Tornai in Italia chiamato all'Università di Cagliari, poi andai a Pisa e successivamente a Roma, e fui presto pienamente impegnato alla realizzazione del progetto dell'elettrosincrotrone nazionale. Sicché, durante la Conferenza Rochester di Chicago, fu una piacevole sorpresa sentire che Enrico Fermi aveva utilizzato tra i primi il nostro lavoro sugli scintillatori. Si tratta della nota “Angular Distribution of Pions scattered by Hydrogen” pubblicata nel 1953 da H. L. Anderson, E. Fermi, R. Martin e D. E. Nagle [A3]. In questo lavoro, subito riconosciuto di fondamentale importanza, Fermi e collaboratori dedicarono un intero paragrafo alla descrizione degli scintillatori liquidi da loro impiegati (p.156). In esso è esplicitamente citato il magico componente terphenyl da noi scoperto. Ma nella loro nota Fermi e collaboratori hanno presentato i loro contatori a scintillazione come derivanti dalle ricette studiate da H. Kallmann e M. Furst [A4, A5] in due note scientifiche successive alla nostra del Marzo 1950: “Fluorescence

of Solutions Bombarded with High Energy Radiation (Energy transport in Liquids)”. Esse sono due note, parte prima e seconda con lo stesso titolo, entrambe pubblicate su *Physical Review*.

Non posso fare a meno di osservare che la nostra priorità compare nel loro lavoro al limite della correttezza: in effetti citano, come anche noi abbiamo sempre fatto, il lavoro precursore di Ageno e collaboratori [A2] insieme a un articolo successivo di Reynolds e Harrison [A6] che analizzava l'emissione spettrale di vari scintillatori liquidi, citando naturalmente il nostro precedente risultato. Il nostro lavoro fondamentale, che precedeva tutto questo, viene ricordato soltanto nella forma seguente: “Terphenyl was first proposed by Reynolds Harrison, and Salvini, Phys. Rev. 78 , 488 (1950)” [A4, p. 861].

Così è necessario andare al loro lavoro successivo [A5] per trovare i nomi dei veri scopritori. Ma c'è una sorpresa. Non soltanto il riferimento è dato con ritardo inammissibile, ma è anche sbagliato, perché il mio nome si è trasformato in “Salvani”, invece che Salvini. Il nome “Salvani” fu citato in varie occasioni da H. Kallmann e dalla sua scuola. Come ho detto, ero molto impegnato con il sincrotrone nazionale italiano, e non avevo modo di occuparmi di questi dettagli meno importanti. In ogni caso li ricordo oggi, per sottolineare che la priorità della scoperta dello straordinario terfenile appartiene a Reynolds, Harrison e Salvini come pubblicato nel lavoro [A1].

Voglio ora ricordare un documento scritto circa trent'anni dopo da un indimenticabile amico, Robert Hofstadter. Nel corso di una conferenza tenuta a Parigi nel 1982 sulla storia della fisica delle particelle, durante un “Panel on Accelerators and detectors in the 1950” (*Colloque International sur l'Histoire de la Physique des Particules*, Parigi 1982) a cui partecipavano Lawrence W. Jones (Chairman), Luis W. Alvarez, Ugo Amaldi, Robert Hofstadter, Donald W. Kerst e Robert Wilson. Ugo Amaldi e altri avevano ricordato le prime ricerche sulle soluzioni liquide da utilizzare come rivelatori per le particelle. Ecco cosa disse Hofstadter, secondo quanto pubblicato nei *Proceedings*: [A7, p. 195]: “I would like to make one remark following on Ugo Amaldi's talk about the liquid scintillators, because I remember very well when Reynolds started the work on that, and when Salvini came to Princeton. I was there at that time. I had just sent in a paper on terphenol and dibenzol scintillation counters – these were inorganic and solid crystals. Salvini and Reynolds were using benzene, as I remember, and I suggested that they should use xylene. There are three kind of xylene,

ortoxylene, mataxylene and paraxylene. I knew from literature I had read that orthoxylene was by far the best. So I suggested this to Reynolds and Salvini. Reynolds came into my laboratory where I was doing the Sodium Iodide work on spectroscopy, and we got some orthoxylene. We dropped a little bit of the terphenol in, and there were the biggest pulses that anybody had ever seen with a liquid scintillator. That's a little bit to be added to the history of liquid scintillation counters”.

La nostra visita a Robert Hofstadter, che lavorava a Princeton negli anni Cinquanta, avvenne proprio poco prima della nostra pubblicazione pionieristica. Egli conosceva tutti i dettagli della nostra storia e l'interesse di Fermi per il nostro terfenile. Una storia iniziata in effetti in seguito al suo suggerimento. La sua testimonianza chiarisce la vicenda del terfenile e i meriti delle scoperte ad essa correlate. In conclusione, possiamo dire che:

– Trovammo le soluzioni di terfenile (Reynolds, Harrison, Salvini) piuttosto inaspettatamente, forse come una pepita nelle mani di un fortunato cercatore d'oro.

– L'incontro tra Hofstadter, Reynolds e Salvini, come riportato dallo stesso Hofstadter, avvenne quando noi tre stavamo pubblicando i nostri risultati su *Physical Review Letters*.

– La nostra pubblicazione venne dopo la nota di Ageno, Chiozzotto, Querzoli, che ebbero il merito di provocare l'interesse negli scintillatori liquidi, ma assolutamente prima della pubblicazione di Kallmann.

– I nomi degli scopritori del terfenile sono gli autori della nota [A1], che chiaramente annunciarono tale scoperta. Vorrei aggiungere il nome di R. Hofstadter, che fu generoso ed essenziale, come è riportato nella sua nota [A7, p. 195].

– Dobbiamo riconoscere l'intenso e sistematico lavoro di Kallmann, il quale, peraltro, non fu preciso nelle sue citazioni e non fu fortunato come noi nello scoprire quello che apparve subito come il miracolo del terfenile.

## Bibliografia

### Riferimenti bibliografici

[1] D. W. Kerst e R. Serber, The Acceleration of Electrons by Magnetic Induction, *Phys. Rev.* 60, 1941, 47–53.

[2] N. Kemmer, *Proc. Cambridge Philosophical Society* 34, 354, 1938; H.A. Bethe, *Phys. Rev.* 57, 1940, 267–390.

- [3] J. Hamilton, W. Heitler e M.W. Peng, *Phys. Rev.* 64, 1943, 78.
- [4] J. Tabin, *Phys. Rev.* 66, 1944, 86.
- [5] M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, *Phys. Rev.* 71, 1947, 209 – 210.
- [6] G. Salvini, La vita di Oreste Piccioni e la sua attività scientifica in Italia, Giornata Lincea in ricordo di Oreste Piccioni. Roma, 12 Novembre 2003, *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali*, Serie IX, volume XV Fascicolo 4, 289 – 323.
- [7] H. Yukawa, On the interactions of Elementary Particles, *Proc. Phys. Math. Society*, Japan 17, 1935, 48–57.
- [8] B. Rossi, *High Energy Particles*, cap. 8, p. 388 e segg., Prentice Hall, New York, 1952.
- [9] G. Cocconi and V. C. Tongiorgi, Intensity and Lateral Distribution of the N-Component in the Extensive Showers of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 79, 1950, 730; V. C. Tongiorgi, On the Mechanism of Production of the Neutron Component of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 76, 949, 517; G. Cocconi e V. Tongiorgi, Angular Distribution and Multiplicity of Neutrons Associated with Local Cosmic-Ray Showers, *Phys. Rev.* 76, 1949, 318; V. C. Tongiorgi, Neutrons in the Extensive Air Showers of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 75, 1949, 1532; G. Cocconi, V. Tongiorgi, and K. Greisen, Neutrons in the Penetrating Showers of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 74, 1948, 1867; V. T. Cocconi, On the Origin of the Neutrons Associated with the Extensive Cosmic-Ray Showers, *Phys. Rev.* 74, 1948, 226; V. Tongiorgi, On the Presence of Neutrons in the Extensive Cosmic-Ray Showers, *Phys. Rev.* 73, 1948, 923; C. Milone and V. Tongiorgi, On the Generation in Paraffin of Ionizing Penetrating Particles by a Neutral Component of the Cosmic Radiation, *Phys. Rev.* 72, 1947, 735.
- [10] G. D. Rochester e J. G. Wilson, *Cloud Chambers photographs of the Cosmic Radiation* Pergamon Press L.T.D., London 1952.
- [11] M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, On the disintegration of negative mesons, *Phys. Rev.* 71, 1947, 209–210.
- [12] C. M. Lattes, H. Muirhead, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell, *Nature* 158, 1947, 694; C. M. Lattes, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell, *Nature* 160, 1947, 453, 486.
- [13] G. Paoloni (a cura di), *Energia, ambiente, innovazione. Dal CNRN all'ENEA*, Edizioni Laterza, 1992.
- [14] M. Ageno, M. Chiozzotto, and R. Querzoli, Sulla nuova tecnica dei contatori a scintillazione, *Atti Accademia Nazionale dei Lincei* 6, 1949, 626.
- [15] L. Anderson, E. Fermi, R. Martin e D.E. Nagle, *Physical Review* 91, 1953, 155.
- [16] G. Salvini (a cura di), *L'elettrosincrotrone di Frascati*, prefazione di Gilberto Bernardini, progetto e realizzazione della sezione acceleratore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Zanichelli, Bologna 1962, Supplemento al *Il Nuovo Cimento* XXIV, 1962.
- [17] L. Bonolis e M. G. Melchionni (a cura di), *Fisici italiani del tempo presente. Storie di vita e di pensiero*, Marsilio, Venezia, 2003.

**Bibliografia parziale relativa alle ricerche sui raggi cosmici e al lavoro svolto a Frascati nel periodo 1945–1975, estesa alle ricerche effettuate a Ginevra nell’esperimento UA1**

- [S1] G. Salvini, Calcolazioni numeriche su un nuovo tipo di interazione mesonica per il sistema protone–neutrone, *Rend. Ist. Lomb. Sc. e Lett.* LXXVIII, 1944–1945, 258.
- [S2] G. Salvini, Sull’assorbimento della radiazione cosmica a 2100 m, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, III, 1946, 283.
- [S3] G. Salvini, Un contatore di Geiger–Müller in forma sferica, *Ricerca Scientifica e Ricostruzione*, XVII, 1947, 914,.
- [S4] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Osservazioni in camera di Wilson sullo sparpagliamento laterale delle particelle negli sciami estesi *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, IV, 1947 102.
- [S5] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Presence of a penetrating component in extensive showers in the atmosphere, *Nature* 159, 1947, 367.
- [S6] G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla componente penetrante degli sciami dell’aria, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, IV, 1947, 279.
- [S7] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla presenza di una componente penetrante negli sciami estesi della radiazione cosmica, *Rend. Accad. Naz. Lincei* s. 8<sup>a</sup>, 1947, 437.
- [S8] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla presenza di una componente penetrante negli sciami estesi dell’aria, *Il Nuovo Cimento*, s. 9<sup>a</sup>, IV, 1947, 10.
- [S9] G. Salvini, Un contatore proporzionale di forma sferica, *La Ricerca Scientifica* XVIII, 1948, 3.
- [S10] G. Salvini, La distinzione delle componenti della radiazione cosmica nella bassa atmosfera e la frequenza relativa dei mesoni lenti, *Il Nuovo Cimento*, s. 9<sup>a</sup>, V, 1948, 213.
- [S11] G. Salvini e G. Tagliaferri, On the penetrating component of air showers, *Phys. Rev.* 73, 1948, 261.
- [S12] G. Salvini, Some Geiger–Müller and proportional counters of spherical shape, *Review of Scientific Instruments* 19, 1948, 104.
- [S13] G. Salvini, Sull’ipotesi di un nuovo tipo di particelle negli sciami estesi, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, V, 1948, 104.
- [S14] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Alcune proprietà delle esplosioni nucleari nella radiazioni cosmica, *Il Nuovo Cimento* VI, 1949, 207.
- [S15] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Esplosioni nucleari in piombo e in carbonio, osservate in camera di Wilson, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VI, 1949, 486.
- [S16] G. Salvini e G. Tagliaferri, Local production of the penetrating particles in extensive showers, *Phys. Rev.* 75, 1949, 1112.

#### 4. Giorgio Salvini

- [S17] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Nuclear interactions of the particles produced in cosmic rays bursts, *Nature* 163, 1949, 1004.
- [S18] A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, La produzione di particelle penetranti negli sciami dell'aria, *Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VI, 1949, 108.
- [S19] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Sulla natura e sul numero delle particelle penetranti nelle esplosioni nucleari prodotte nel piombo dalla radiazione cosmica, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VI, 1949, 291.
- [S20] G. Salvini, Sulla struttura degli sciami estesi dell'aria, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VI, 1949, 293.
- [S21] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Cloud chamber observations on the electromagnetic component from nuclear explosions and the development of the nuclear cascade, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VIII, 1950, 943.
- [S22] A. Borsellino e G. Salvini, Considerazioni sullo sviluppo in cascata della componente penetrante degli sciami estesi, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VII, 1950, 790.
- [S23] F. Harrison, G. Reynolds e G. Salvini, Liquid scintillation counters, *Phys. Rev.* 78, 1950, 488.
- [S24] G. Salvini, The mean free path of the N component of the cosmic radiation, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VII, 1950, 786.
- [S25] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Mean free path of the particles produced in nuclear explosions in C and Pb, *Phys. Rev.* 77, 1950, 284.
- [S26] A. Lovati, A. Mura, G. Salvini e G. Tagliaferri, Proprietà nelle esplosioni nucleari e confronto tra le esplosioni in C e in Pb, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup> VII, 1950, 36.
- [S27] G. Salvini, Detection of nuclear reactions by means of a cloud chamber containing a crystal of sodium iodide, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, VIII, 1951, 798.
- [S28] Y. Kim e G. Salvini, Production cross section and energy spectrum of the neutral mesons in cosmic rays, *Phys. Rev.* 85, 1952, 921.
- [S29] Y. Kim e G. Salvini, Production cross section and frequency of neutral mesons in cosmic rays, *Phys. Rev.* 88, 1952, 40.
- [S30] G. Salvini, Interaction mean free path and charge exchange of the  $\pi$ -mesons, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, X, 1953, 1018.
- [S31] G. Salvini, Relazione sui raggi cosmici per il Congresso di Bergamo, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, X, 1953, 269.
- [S32] G. Salvini, Il progetto italiano di un elettrosincrotrone, *Suppl. Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, XII, 1954, 77.
- [S33] G. Salvini, Proposal of a synchrotron with a double vacuum chamber, *Il Nuovo Cimento* s. 9<sup>a</sup>, XI, 1954, 55.
- [S34] G. Salvini, The Italian design of a 1000 MeV electrosynchrotron: a comparison between the strong and the weak focusing, *Supplemento Nuovo Cimento* serie X, II, 1955, 442, s.10<sup>a</sup>, II, 1955, 442. Rendiconti scuola di Varenna, Luglio–Agosto 1954. Dedicato alla Memoria di Enrico Fermi.

- [S35] G. Salvini, L'elettrosincrotrone di Frascati da 1000 MeV e le ricerche possibili con esso, *Energia Nucleare* III, 1956, 435.
- [S36] G. Salvini e G. Sanna, On the use of electric current to increase the radial extent of the focusing region in the INFN electron-synchrotron, [Atti del] *Symposium du CERN sur les accélérateurs de haute énergie*, Genève, 12–23 juin 1956, I, 1956, 458.
- [S37] G. Salvini, A synchrotron with a double vacuum chamber, [Atti del] *Symposium du CERN sur les accélérateurs de haute énergie*, Genève, 12–23 juin 1956, I, 1956, 40–41.
- [S38] G. Salvini, Il recente Convegno di fisica nucleare tenutosi negli Stati Uniti presso l'Università di Rochester, *Giornale di Fisica* I, 1956–1957.
- [S39] G. Salvini, Il problema dei lavoratori, [Atti del] *I Convegno di studio sulle condizioni della ricerca fisica in Italia*, Roma, settembre 1958.
- [S40] G. Salvini, Stato attuale dei lavori per l'elettrosincrotrone nazionale da 1000 MeV, *Il Nuovo Cimento* s. 10<sup>a</sup>, IX, 1958, 402 (Suppl.2).
- [S41] G. Salvini, Operation at 1000 MeV of the Frascati electrosynchrotron (con collab.), *Il Nuovo Cimento* s. 10<sup>a</sup>, XI, 1959, 311.
- [S42] G. Salvini, Search for new neutral mesons (the  $\rho^0$ -mesons) (con collab. Di C Bernardini, R. Querzoli, A. Silverman, G. Stoppini), *Il Nuovo Cimento* s.10<sup>a</sup>, XIV, 1959, 268.
- [S43] G. Salvini, Sulla situazione dei lavori per l'elettrosincrotrone italiano da 1200 MeV e nel programma di ricerche (con collab.), *Il Nuovo Cimento* s. 10<sup>a</sup>, XI, 1959, 324 (Suppl. 3).
- [S44] G. Salvini, Photoproduction of neutral pions and polarization of the recoil protons, *Proceedings of the International Conference at Rochester*, 25 agosto–1 settembre, 1960.
- [S45] R. Querzoli, G. Salvini e A. Silverman, The polarization of the proton from the process  $\Upsilon + p \rightarrow p + \pi^0$  in the region of the higher resonances, *Il Nuovo Cimento* s. 10<sup>a</sup>, XIX, 1961, 53.
- [S46] A cura di G. Salvini, L'elettrosincrotrone di Frascati, Progetto e realizzazione della sezione acceleratore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Zanichelli, Bologna, 1962, 388 (Suppl. a *Il Nuovo Cimento* s. 10<sup>a</sup>, XXIV, 1962).
- [S47] C. Mencuccini, R. Querzoli, G. Salvini e G. Silvestrini, A first evidence of a radiative mode of the intermediate pion resonance, *Proceedings of the International Conference on High Energy Physics at CERN*, Geneva, 1962, 33.
- [S48] C. Mencuccini, R. Querzoli, G. Salvini, Polarization of the recoil proton from the neutral photoproduction at 800 and 910 MeV, *Phys. Rev.* 126, 1962, 1181.
- [S49] G. Salvini (a cura di), Procedimento dei lavori, divisione dei compiti, quadro dei tempi, prima fase delle ricerche sperimentali, in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna (1962) 31 (*Il Nuovo Cimento* s. 10<sup>a</sup>, XXIV, Suppl. 1).
- [S50] A cura di G. Salvini (con collab.), Il progetto e la realizzazione del magnete,

#### 4. Giorgio Salvini

in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 98, *Idem*.

[S51] A cura di G. Salvini (con collab.), La ricerca del fascio, in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 334, *Idem*.

[S52] A cura di G. Salvini (con collab.), Servizi e laboratori speciali in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 371, *Idem*.

[S53] A cura di G. Salvini (con collab.), Il sistema centrale di controllo in *L'elettrosincrotrone e i Laboratori di Frascati*, Zanichelli, Bologna, 1962, 312., *Idem*.

[S54] G. Salvini (con collab.), Photoproduction and neutral decay modes of the  $\eta$  particle, *Phys. Rev. Lett.* 11, 1963, 37.

[S55] G. Salvini (con collab.), The single photoproduction of neutral pions in hydrogen in the energy range 600 to 800 MeV. Use of the spark chamber technique, *Proceedings of the Conference on High Energy Physics*, Aix-en-Provence, luglio 1963.

[S56] G. Salvini (relazione a invito), Physics with photons and electron beams: requirements of experimenters in terms of energy intensity and quality, *Proceedings of the 5th International Conference on High Energy Accelerators*, 5-16 settembre 1965, 197.

[S57] G. Salvini (con collab.), Photoproduction of the eta particle at 800-1000 MeV; a comparison between the  $\pi$ -n and  $\eta$ -n system, *Phys. Rev. Lett* 16, 1966, 157.

[S58] G. Salvini, Metodi e mezzi del fisico, da Galileo ad oggi, *De Homine*, 13-14, 1967.

[S59] G. Salvini (con collab.), Photoproduction of neutral pions for incident photon energies 400-800 MeV. Search for resonant  $P_{11}$  state and remarks on the eta cusp effect, *Phys. Rev.* 159, 1967, 1124.

[S60] G. Salvini, Il 'tritume' e i 'particolari accidenti' nella evoluzione della fisica, *De Homine* 15-16, 1967.

[S61] G. Salvini, Future perspectives of fundamental research. The industry of culture. Theory and phenomenology in particle physics, *Opening talk*, Erice School, luglio; Academic Press, New York, 1968.

[S62] G. Salvini, Production of the eta particle and the extent of our present understanding, in *Old and new problems in elementary particles*, Academic Press, New York, 1968.

[S62bis] G. Salvini in coll. con C. Bacci, C. Mencuccini, G. Penso, C. Silvestrini, Eta photoproduction cross section for incident photon energies from 800 to 1000 MeV, *Il Nuovo Cimento* s. 10 Vol. 45, 983.

[S63] G.Salvini, The 'eta' particle, *Rivista del Il Nuovo Cimento* 1, 1969, 57.

[S64] G.Salvini (con collab.), Reaction  $e^+e^- \rightarrow \pi^0 + \gamma$  and  $e^+e^- \rightarrow \eta + \gamma$ . Measurement of  $\omega\phi$  and  $\eta\eta'$  mixing angles, *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi* a cura di B. Touschek, (1971), 244.

- [S65] G. Salvini (con collab.), Total eta–nucleon cross–section by photoproduction of eta–mesons in complex nuclei, *Lettere al Il Nuovo Cimento* I, 1969, 391.
- [S66] G. Salvini, Electromagnetic production of hadronic resonances, in *Elementary processes at high energy*, Academic Press, 1971.
- [S67] G. Salvini (con collab.), The  $\eta$  and  $\eta'$  particles in the pseudoscalar nonet, *Ann. Rev. Nucl. Sci.* 21, 1971, 1.
- [S68] G. Salvini (con collab.), Experimental test of quantum electrodynamics by 2  $\gamma$  annihilation at (1.4+2.4) GeV total energy with the  $e^+e^-$  storage rings Adone, *Lettere al Il Nuovo Cimento* s. 2<sup>a</sup>, II, 1971, 73.
- [S69] G. Salvini (con collab.), Multiple production from  $e^+e^-$  annihilation and a first observation of  $\gamma+\gamma$  interaction ( $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \text{others}$ ) *Proceedings of the first EPS Conference on, Meson resonances and related electromagnetic phenomena*, Bologna 14–16 aprile 1971.
- [S70] G. Salvini (con collab.), Gamma–gamma interaction processes at Adone:  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ , *Lettere al Il Nuovo Cimento* s. 2<sup>a</sup>, III, 1972, 709.
- [S71] G. Salvini, Mitologia e verità nella figurazione di Galileo. Il Galileo di Bertolt Brecht, in *Saggi su Galileo*, Barbera, Firenze 1972. Pubblicazioni del Comitato nazionale per le manifestazioni celebrative del IV centenario della nascita di Galileo Galilei, vol. III.
- [S72] G. Salvini (con collab.), Multihadronic cross section from  $e^+e^-$  annihilation at c.m. energies between 1.4 and 2.4 GeV, *Phys. Lett.* B38, 1972, 7.
- [S73] G. Salvini (con collab.), Multihadronic cross sections from  $e^+e^-$  annihilation up to 3 GeV c.m. energy, *Phys. Lett.* B44, 1973, 533.
- [S74] G. Salvini (con collab.), Wide angle electron positron Bremsstrahlung at Adone: a new limit for the existence of a heavy electron, *Phys. Lett.* B44, 1973, 530.
- [S75] G. Salvini, Researches in Frascati on the reactions  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + X$ , presentato alla Conferenza di Parigi, 3–5 settembre, 1973.
- [S76] G. Salvini *et al.*, Preliminary results of Frascati (Adone) on the nature of a new 3.1 GeV particle produced in  $e^+e^-$  annihilation, *Phys. Rev. Lett.* 33, 1974, 1408; *Phys. Rev. Lett.* 33, 1974, 1649.
- [S77] G. Salvini *et al.*, Study of Hadronic events and search for new particles at PETRA, *Exp. proposal 76/11*, Laboratori Nazionali di Frascati, luglio 1976.
- [S78] G. Salvini, On the possibility to reach higher energy for a short time in a  $e^+e^-$  storage ring. The case of an  $e^+e^-$  ring inside the SPS tunnel, *Nota interna n. 677*, 10 gennaio, 1977, Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma.
- [S79] G. Tazzari e G. Salvini, Electron positron rings between  $2 \times 40$  and  $2 \times 100$  GeV. Conventional and unconventional perspectives, invited papers at the DESY study week, February 24–28, 1977, *Nota interna*, LNF/77/13(R), 19 aprile, 1977.
- [S79bis] G. Salvini, R. Visentin, Use of the gravity field to shape large linear solar Concentrators, *Nota interna* N<sup>o</sup> 692 Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma, 5 sett. 1977.

#### 4. Giorgio Salvini

- [S80] G. Salvini (UA1 Collaboration), A  $4\pi$  solid angle detector for the SPS used as a proton–antiproton collider at a centre of mass energy of 540 GeV, *CERN/SPSC/78-06 SPSC/P92*, 30 gennaio 1978.
- [S81] G. Salvini (UA1 Collaboration), Some observations on the first events seen at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 107B, 1981, 320.
- [S82] G. Salvini (UA1 Collaboration), Transverse momentum spectra for charged particles at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 118B, 1982, 167.
- [S83] G. Salvini (UA1 Collaboration), First observation of correlations between high transverse momentum charged particles in events from the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 118B, 1982, 173.
- [S84] C. Bacci *et al.*, A calorimeter with wavelength shitter read out for particles at small angles in proton-antiproton collisions, *Nuclear Instruments and Methods* 200, 1982, 195.
- [S85] G. Salvini (UA1 Collaboration), Small angle elastic scattering at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 121B, 1983, 77.
- [S86] G. Salvini (UA1 Collaboration), Experimental observation of isolated large transverse energy electrons with associated missing energy at  $\sqrt{s} = 540$  GeV, *Physics Letters* 122B, 1983, 103.
- [S87] G. Salvini (UA1 Collaboration), Search for Centauro like events at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 122B, 1983, 189.
- [S88] G. Salvini (UA1 Collaboration), Charged particle multiplicity distributions in proton–antiproton collisions at 540 GeV centre of mass energy, *Physics Letters* 123B, 1983, 108.
- [S89] G. Salvini (UA1 Collaboration), Observation of jets in high transverse energy events at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 123B, 1983, 115.
- [S90] G. Salvini (UA1 Collaboration), Experimental observation of lepton pairs of invariant mass around 95 GeV/ $c^2$  at the CERN SPS Collider, *Physics Letters* 126B, 1983, 398.
- [S91] G. Salvini (UA1 Collaboration), Elastic and total cross section measurement at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 128B, 1983, 336.
- [S92] G. Salvini (UA1 Collaboration), Further evidence for charged Intermediate Vector Bosons at the SPS Collider, *Physics Letters* 129B, 1983, 273.
- [S93] G. Salvini (UA1 Collaboration), Hadronic jet production at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 132B, 1983, 214.
- [S94] G. Salvini (UA1 Collaboration), Jet fragmentation into charged particles at the CERN proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 132B, 1983, 223.
- [S95] G. Salvini (UA1 Collaboration), Search for massive  $e\nu\gamma$  and  $\mu\nu\gamma$  final states at the CERN Super Proton Synchrotron Collider, *Physics Letters* 135B, 1984, 250.
- [S96] G. Salvini (UA1 Collaboration), Observation of the muonic decay of the charged Intermediate Vector Boson, *Physics Letters* 134B, 1984, 469.

- [S97] G. Salvini (UA1 Collaboration), Angular distributions and structure functions from two jet events at the CERN SPS proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 136B, 1984, 294.
- [S98] G. Salvini (UA1 Collaboration), Experimental observation of events with large missing transverse energy accompanied by a jet or a photon(s) in proton–antiproton collisions at  $\sqrt{s}=540$  GeV, *Physics Letters* 139B, 1984, 115.
- [S99] G. Salvini (UA1 Collaboration), D\* production in jets at the CERN SPS Collider, *Physics Letters* 147B, 1984, 222.
- [S100] G. Salvini (UA1 Collaboration), Observation of the muonic Z<sup>0</sup> decay at the proton–antiproton Collider, *Physics Letters* 147B, 1984, 241.
- [S101] G. Salvini, What we know and what we do not (yet) know in Particle Physics, *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi*, a cura di J. Audouze e F. Melchiorri, 1990, 307-339.
- [S102] G. Salvini, Detectors. Present and Future in high energy physics, *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi*, a cura di J. Audouze e F. Melchiorri, 1990, 341.

### Bibliografia Appendice

- [A1] George T. Reynolds, F.B. Harrison e G. Salvini, Liquid scintillation Counters, *Phys. Rev.* 78, 1950, 488.
- [A2] M. Ageno, M. Chiozzotto, e R. Querzoli, Sulla nuova tecnica dei contatori a scintillazione, *Atti Accademia Nazionale dei Lincei* 6, 1949, 626.
- [A3] H. L. Anderson, E. Fermi, R. Martin and D.E. Nagle, *Phys. Rev.* 91, 155, (1953).
- [A4] H. Kallmann e M. Furst, *Phys. Rev.* 79, 1950, 857.
- [A5] H. Kallmann e M. Furst, *Phys. Rev.* 81, 1951, 853.
- [A6] George T. Reynolds e F.B. Harrison, *Phys. Rev.* 78, 1950, 732.
- [A7] R. Hofstadter, in “Panel on Accelerators and Detectors in the 1950s”, *Colloque International sur l’Histoire de la Physique des Particules, Journal de Physique Suppl.* (Paris) 43 (2) 1982, 195.