



MARCELLO CONVERSI

CARLO RUBBIA

MARCELLO CONVERSI (\*)

Quando, in un'atmosfera particolarmente gioiosa, cordiale e piena di fiducia nell'avvenire, mi fu offerta la possibilità di testimoniare la mia amicizia per Marcello Conversi in occasione del suo settantesimo compleanno percorrendo i punti più salienti della sua lunga vita di scienziato, durante il simposio presso l'Istituto di Fisica di Roma nel novembre 1987, non avrei potuto immaginare che, a qualche anno di distanza, una ben più triste cerimonia avrebbe visto oggi nuovamente riuniti i suoi amici.

Marcello ci ha lasciati il 27 settembre 1988, un martedì. Un convegno internazionale sulla storia della fisica delle particelle elementari in Europa e negli Stati Uniti, dedicato al periodo 1945-1960, aveva avuto luogo la settimana precedente e Marcello avrebbe dovuto parlare del suo famoso esperimento con Oreste Piccioni ed Ettore Pancini, un esperimento che, come si legge nel testo del discorso di Luis Alvarez in occasione della consegna dei premi Nobel, può a ragione essere considerato come l'inizio dell'era moderna nella storia della fisica delle particelle. Marcello avrebbe dovuto parlare della «genesì del concetto di leptone», alla cui origine c'è proprio il suo esperimento con Pancini e Piccioni (fig. 5). Ma Marcello non c'era. Tuttavia il suo stato di salute non destava particolari preoccupazioni e nessuno pensava alla sua prematura scomparsa qualche giorno dopo.

Marcello Conversi nacque a Tivoli il 25 agosto 1917. Laureatosi in fisica a Roma nel luglio 1940, relatore Bruno Ferretti, ebbe la fortuna — sono queste le sue parole — di aver avuto, fin dall'inizio della sua carriera scientifica in Istituto, giovani professori come Edoardo Amaldi, Gilberto Bernardini e Gian Carlo Wick che, con la loro dedizione, perseveranza, competenza, entusiasmo, cultura e fascino intellettuale, permisero alle più giovani generazioni di fisici di sopravvivere nonostante le condizioni oscure create dalla guerra. Per un periodo breve, ma sufficiente a lasciarne traccia, ebbe come docente anche Enrico Fermi. Di Fermi egli ricordava chiaramente l'impressione ricevuta dalle sue lezioni, il sentimento di trovarsi di fronte ad una mente eccezionale capace di trovare, senza apparente sforzo (qualcosa come Mozart per la Musica), la strada maestra per andare alle radici di ogni problema scientifico. Il confronto fra Fermi e Mozart non era casuale: all'inizio della sua carriera di fisico gli interessi di Marcello erano infatti divisi fra la fisica e la musica, forse con preferenza per quest'ultima, come ebbe egli stesso a confessare in tempi recenti, probabilmente con una punta di nostalgia, nonostante la brillante carriera scientifica. Chi ebbe il privilegio di poterlo conoscere da vicino non può non aver notato quanto spesso egli amasse conversare di questioni musicali.

(\*) Commemorazione tenuta nella seduta del 21 aprile 1990.

L'attività scientifica di Marcello si svolse principalmente a Roma, con un lungo periodo trascorso a Pisa, un'importante parentesi sul continente americano e numerosi soggiorni, anche prolungati, presso i laboratori del CERN a Ginevra. Poiché io stesso cominciai la mia attività scientifica a Pisa, dapprima allievo e successivamente collaboratore di Marcello, partirò dal periodo pisano quale opportuno riferimento.

Marcello fu nominato Professore a Pisa il 1° febbraio 1951 e successivamente Direttore dell'Istituto di Fisica dell'Università. Aveva trascorso il periodo precedente, dal 1947 al 1949, come «Post-doctoral fellow» presso l'«Institute for Nuclear Studies» dell'Università di Chicago, quindi come «visiting scientist» presso altre Università americane nel 1950. A Chicago Marcello aveva eseguito una serie di esperimenti sui raggi cosmici con sistemi di contatori Geiger trasportati ad alta quota da aeroplani del tipo B-29 (le famose fortezze volanti) sull'eccesso positivo e l'effetto di latitudine di particelle penetranti a 30.000 piedi e la loro dipendenza dall'altezza.

Al momento dell'arrivo di Marcello a Pisa, l'attività nel campo della fisica subnucleare era quasi totalmente inesistente e va riconosciuto a Marcello il merito di averla fatta nascere. Molti di noi «pisani», Luigi Di Lella, Italo Mannelli ed altri, ricordiamo quei tempi come particolarmente appassionanti. Proprio in quegli anni, infatti, la Scuola Normale di Pisa era frequentata da personaggi della levatura di Giorgio Salvini — che arrivò un anno dopo Marcello e che in quel periodo si dedicava con il suo gruppo alla costruzione dell'elettrosincrotrone di Frascati —, Luigi Radicati di Brozolo, che arrivò nel 1953 e Bruno Touschek, che si recava frequentemente a Pisa per dare le sue inconfondibili lezioni agli studenti. Uno dei primi calcolatori elettronici era in corso di sviluppo, su suggerimento di Fermi, proprio nell'edificio dell'Istituto di Fisica. Marcello fu nominato Presidente del Comitato Direttivo del Centro Studi Calcolatori Elettronici, appositamente creato per lo studio di questo calcolatore, poi divenuto Istituto per l'elaborazione dell'Informazione del CNR. Egli mantenne questa funzione dal 1955 al 1960. Se la comunità scientifica raggiunse finalmente le «dimensioni critiche» per diventare una «scuola», questo è dovuto in gran parte all'impulso ed all'energia che Marcello seppe instancabilmente dare ed all'attrazione che egli esercitò sui giovani, lasciandoli sempre liberi di estrinsecare le loro qualità ed il loro senso di responsabilità.

Ma Marcello non era né quello che noi chiameremmo un «capo» né quello che per i francesi potrebbe essere una «mère poule». Marcello aveva il gusto del coinvolgimento diretto nella ricerca e per questo, pur avendo dimostrato di possedere qualità di Direttore scientifico di prim'ordine, rifiutò sempre Presidenze o Direzioni di grandi istituti scientifici. Non potrei a questo punto non ricordare l'insistenza unanime e pressante del Consiglio Direttivo dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare quando tentò con tutti i mezzi di convincerlo ad accettare la carica di Presidente dell'Istituto. Marcello rispose a questa richiesta con garbato, persistente e dignitoso rifiuto fino a persuadere il Consiglio Direttivo dell'impossibilità di averlo a sua guida.

Marcello era infatti prima di tutto un fisico, anzi un fisico sperimentale. A questo proposito vorrei osservare che a volte si tende a sottovalutare, erroneamente, l'importanza dell'ingegnosità e dell'intuizione sperimentale ai fini dell'avanzamento

della scienza. Lo stupefacente progresso compiuto negli ultimi quarant'anni nel nostro campo non è infatti in gran parte dovuto proprio ai risultati ottenuti dai fisici sperimentali? Basti pensare al fatto che mentre la tecnica ed i metodi della fisica teorica non sono sostanzialmente cambiati, nel campo della ricerca sperimentale e della strumentazione abbiamo invece assistito a delle autentiche rivoluzioni. Non vorrei naturalmente ricadere nell'eccesso opposto, ed a questo fine vorrei ricordare il teorico T. D. Lee quando, per sottolineare l'interdipendenza fra teorici e sperimentali, afferma che *«without experimentalists, theorists tend to drift; without theorists, experimentalists tend to falter»* (From: *Symmetries, Asymmetries and the World of Particles*, by T.D. LEE).

Il lavoro di Marcello sta a ricordarci tutto questo. Fanno parte del periodo pisano di Marcello alcune ricerche sui raggi cosmici: una ricerca sulla componente nucleonica dei raggi cosmici eseguita presso il laboratorio della Testa Grigia a Plateau Rosa (3500 m) di fronte al Cervino ed un'altra sulla possibile esistenza di particelle di massa 550 volte la massa dell'elettrone, eseguita presso il laboratorio messo in opera dall'Università di Milano nei pressi della diga del Sabbione (Novara) a 2550 m s.l.m. Importante inoltre la partecipazione di Marcello, con Italo Mannelli, Gianni Puppi, Jack Steinberger ed altri ad una serie di esperimenti con una delle prime camere a bolle a idrogeno liquido esposta al Cosmotrone di Brookhaven, sulla nonconservazione della parità nel decadimento degli iperoni, la determinazione della vita media e dello «spin» della lambda zero e del sigma meno, sul decadimento leptonic degli iperoni. Quest'ultima serie di ricerche segna l'inizio dell'impegno di Marcello in ricerche con particelle accelerate artificialmente.

Ma il contributo più importante di Marcello a Pisa resta l'invenzione del cosiddetto «flash tube» con Adriano Gozzini nel 1955 e la conseguente costruzione della prima «camera odoscopica». Questo tubo, comunemente conosciuto sotto il nome di «tubo di Conversi» ed ancora oggi utilizzato in esperimenti in laboratori sotterranei, diede origine a tutta una nuova serie di rivelatori. A differenza di un odoscopio, in cui ogni elemento sensibile alle radiazioni ionizzanti ha bisogno di un suo circuito elettronico e di un elemento visualizzatore relativamente costosi, un insieme di tubi di Conversi realizzava in un certo senso il sogno di molti fisici dell'epoca di una sorta di camera di Wilson elettronica veloce (anche se con peggiore risoluzione spaziale), capace di essere pilotata in modo da selezionare eventi con caratteristiche fissate a priori. In questo senso la camera odoscopica di Conversi e Gozzini può essere considerata il precursore di tutti i rivelatori visualizzanti utilizzati in esperimenti con fasci di particelle di alta energia in collisione (vedi [33], fig. 1).

Non posso fare a meno di pensare che senza questo primo passo noi non avremmo avuto oggi le belle immagini dei complicati eventi ottenute al «collider» del CERN.

Così Marcello descrive l'inizio della sua collaborazione con Gozzini, dopo aver sottolineato che il più antico membro della famiglia dei «rivelatori di tracce sensibilizzati elettricamente» (camere a luminescenza, a scintilla, streamer) era nato a Pisa nel 1955: *«Quando io arrivai a Pisa nel 1950 per occupare la sola cattedra di fisica dell'Università, ebbi la buona fortuna di trovarvi Adriano Gozzini. Egli era il solo*

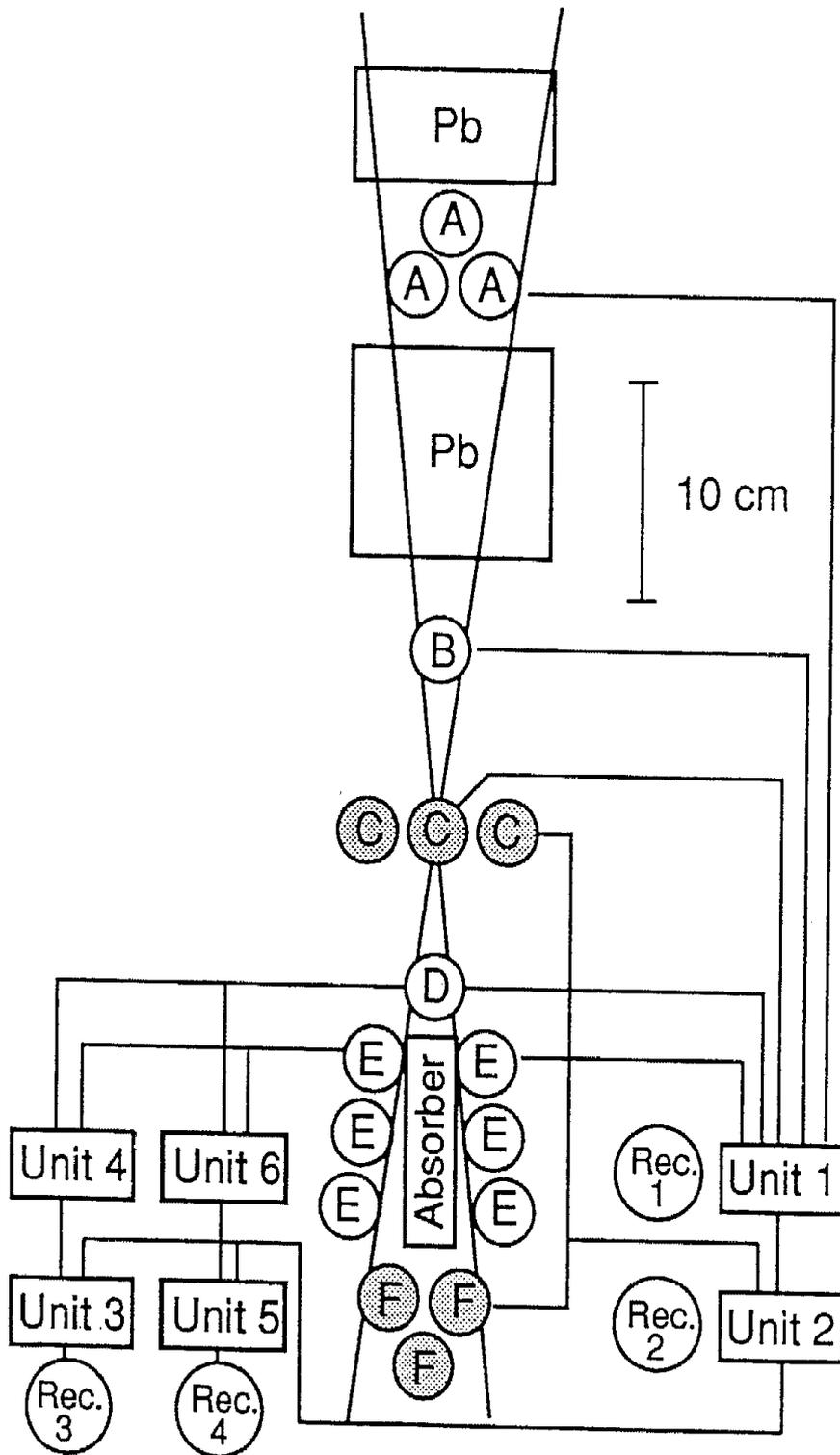


Fig. 1. - Esperimento di Rasetti. Nelle unità 1, 4, 5 e 6 si registrano coincidenze FC con tempi di risoluzione  $t_2$ ,  $t_3$  e  $t_4$  uguali a 15, 2 e 1 rispettivamente (da: F. RASETTI, Physics Review, 1941, 60).

*membro del piccolo staff dell'Istituto di Fisica allora impegnato in ricerche avanzate, che egli eseguiva nel campo della spettroscopia a microonde con la collaborazione di alcuni studenti e di un tecnico. La diversità dei nostri campi di ricerca non ci impedì di comunicare, anzi fu un incentivo per avere frequenti discussioni sul nostro lavoro; ed io credo che la complementarità delle nostre conoscenze ha avuto un ruolo essenziale nella concezione e lo sviluppo della camera a luminescenza. Senza entrare in molti dettagli, vorrei ricordare che a quel tempo era già noto che le comuni lampade al neon avevano difficoltà di accensione — a meno di essere in un ambiente illuminato — dopo l'applicazione di un campo elettrico, ma nessuno aveva mai pensato che tale fenomeno avrebbe potuto essere utilizzato per la rivelazione di particelle ionizzanti. Si sapeva anche che tali lampade si illuminavano in vicinanza di un trasmettitore a radiofrequenza. Il punto di partenza per lo sviluppo della nuova tecnica fu l'osservazione di Gozzini, nel 1954, che una lampada al neon posta in ambiente oscuro non si illuminava nemmeno se sottoposta ad impulsi di breve durata ( $1\mu\text{s}$ ) e di grande potenza (impulsi radar), mentre rispondeva ad impulsi di potenza anche molto inferiore se posta in ambiente illuminato. Noi allora pensammo che un nuovo tipo di rivelatore di tracce di particelle, caratterizzato da una risoluzione spazio-temporale mai prima ottenuta, poteva essere realizzato mettendo insieme un gran numero di sottili tubi riempiti di neon, senza fili all'interno, ricoperti di carta nera come schermo di luce, e sottoponendoli ad un intenso campo elettrico impulsivo, applicato immediatamente dopo il passaggio delle particelle da rivelare.*

*«Rapidamente costruimmo e montammo tutto ciò che era necessario per provare la nostra idea, in particolare usando per la generazione dell'impulso di alta tensione due trasformatori d'impulso di un modulatore per radar che fornivano impulsi rettangolari fino a 20 kVolt,  $2\mu\text{s}$  di durata, montati in pushpull, in modo da ottenere fino a 40 kVolt (e quindi campi elettrici fino a circa 10 kVolt/cm) tra ogni coppia successiva di piastre. La prima prova venne effettuata con successo il 25 marzo 1955 utilizzando tubi di vetro di 1.5 cm di diametro riempiti con argon spettroscopicamente puro a mezza atmosfera. Fu un'esperienza indimenticabile poter osservare immediatamente le tracce dei mesoni  $\mu$  dei raggi cosmici come una sequenza di flash ... e verificare che nessun tubo si illuminava quando l'impulso di alta tensione veniva applicato a caso. Il lavoro proseguì con l'aiuto di due studenti, Sergio Focardi e Giampaolo Murtas, e del compianto Carlo Franzinetti che invitammo ad unirsi a noi in questa impresa. I tubi di argon vennero sostituiti con tubi al neon di 0.65 cm di diametro e fu quindi possibile fotografare per la prima volta mesoni  $\mu$  dei raggi cosmici e sciami elettromagnetici» [130].*

Queste foto esercitano un fascino straordinario ancora oggi. Non è questo un lavoro da fisico sperimentale nel senso più classico del termine? Marcello continuò ad occuparsi ed a seguire gli sviluppi di questa idea fino agli ultimi giorni della sua vita. Come è noto, Franzinetti aveva esperienza in problemi di rivelatori a scarica nei gas per aver studiato assieme a Bella a Roma un contatore a scintilla a facce piane e parallele come quello di Keuffel (altro fisico pieno di immaginazione ed amico di Marcello, anch'egli deceduto) con il quale è possibile trovare coincidenze temporali con poteri risolutivi confrontabili con i migliori dispositivi del giorno d'oggi.

Tornando a Roma, vorrei parlare diffusamente e principalmente dell'esperimento che diede «vera gloria» a Marcello Conversi, Ettore Pancini ed Oreste Piccioni. Sul finire degli anni trenta ed all'inizio degli anni quaranta il mesone  $\mu$ , allora chiamato mesotrone, scoperto da poco e trionfalmente identificato come particella di Yukawa responsabile delle forze nucleari, poteva dirsi al centro dell'attenzione nella fisica dei raggi cosmici: Yukawa aveva tentato di spiegare anche il decadimento beta facendo decadere il suo mesone in elettrone più neutrino. Era dunque importante determinare l'esistenza di questo decadimento e misurarne la vita media. Le prime indicazioni, ottenute da misure di assorbimento anomalo dei mesotroni nell'atmosfera, erano in favore dell'instabilità del mesotrone, ma la corrispondente vita media risultava almeno un buon ordine di grandezza più lunga del valore stimato nel quadro dell'ipotesi di Yukawa. Essendoci ancora molta incertezza su queste misure di vita media, si rendeva necessaria una misura diretta della vita media di mesotroni a riposo; un primo tentativo venne pubblicato nel 1939 in un lavoro di C.G. Montgomery, W.E. Ramsey, D.B. Cowie e D.D. Montgomery, seguito nel 1941 da un esperimento di Franco Rasetti. La storia del famoso esperimento comincia nel momento in cui Oreste venne a conoscenza del lavoro di Rasetti. Così racconta Oreste, con un pizzico di humour: «*La mia iniziazione al mesotrone avvenne nel 1940 nelle montagne italiane vicino al Cervino, quando io aiutavo Gilberto Bernardini, Bruno Ferretti ed altri con medio entusiasmo eccetto che per lo sci. Fu soltanto quando vidi nel 1941 l'articolo di Franco Rasetti che il mio entusiasmo salì ad un alto livello* (fig. 1). Fortunatamente Conversi si unì a me ed insieme studiammo l'esperimento, come anche l'esperimento di Montgomery, Ramsey e Cowie, che devono essere considerati quali primissimi pionieri in questo soggetto, malgrado il loro risultato negativo». Il dispositivo di Montgomery *et al.* era di una semplicità estrema (fig. 2). Esso contava due soli strati orizzontali di contatori separati da una lastra di piombo per il rallentamento dei mesoni e collegati ad un autentico circuito di coincidenze ritardate. Questo dispositivo ovviamente non dette alcun risultato, ma la discussione dei ritardi spurii, assai più frequenti dei ritardi veri, risultò estremamente interessante ai fini degli esperimenti successivi. Il dispositivo di Rasetti rappresentava un progresso in quanto, essendo stato definito un fascio incidente (a spese dell'intensità), era possibile, con alcuni contatori in anticoincidenza posti sotto il moderatore, eliminare tutte le particelle che avevano attraversato quest'ultimo senza fermarsi. I contatori degli elettroni erano posti ai due lati del moderatore, che era più alto che largo, e si trovavano fuori del fascio primario. Tuttavia Rasetti non disponeva di circuiti di coincidenza ritardati e quindi utilizzava tre circuiti di coincidenza «prompt», ma di diverso potere risolutivo (1, 2 e 15  $\mu$ s). Per differenza, si trovava il numero di eventi con ritardo fra 2 e 15  $\mu$ s, ma non era possibile dare una prova dell'esistenza di un decadimento esponenziale. Venne trovata una vita media di  $1.5 \pm 0.3 \mu$ s. Tuttavia restavano incertezze anche sull'esperimento di Rasetti.

Stando a quanto scritto da Oreste, egli stesso e Marcello erano convinti che in entrambi gli esperimenti l'elettronica non era adeguata. Per misurare differenze di tempo dell'ordine del  $\mu$ s, il potere risolutivo avrebbe dovuto essere migliore del decimo di  $\mu$ s e si sarebbe dovuto lavorare con impulsi rettangolari e non triangolari,

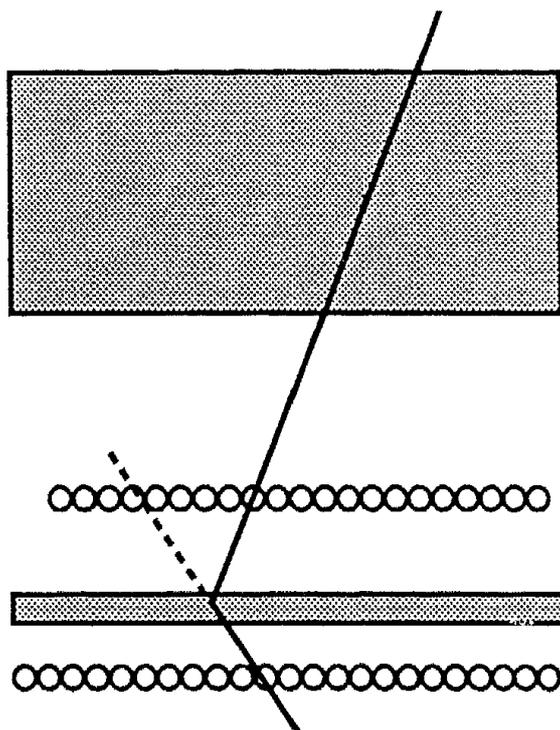


Fig. 2. – Schema dell'esperimento di Montgomery *et al.* I cerchi rappresentano contatori di Geiger e Müller. Il rettangolo più grande rappresenta un filtro di piombo; il rettangolo piccolo rappresenta la piastra di piombo nella quale si ferma il muone. È rappresentata la traiettoria di un muone che decade in un elettrone ed un neutrino (linea tratteggiata) (da: C. G. MONTGOMERY *et al.*, *Physics Review*, 56, 1939, 636, fig. 1).

contrariamente a quello che era l'uso a quel tempo. Ove fosse stato possibile costruire un'elettronica adeguata, sarebbe anche stato possibile tornare al dispositivo di Montgomery *et al.* che aveva una intensità molto maggiore rispetto a quello di Rasetti.

La collaborazione tra Marcello ed Oreste fu indubbiamente felice e ricca di risultati. Così scrive Marcello di Oreste: «*Piccioni, con alcuni anni di esperienza più di me, aveva una profonda conoscenza ed un grande entusiasmo per l'elettronica, e la maggior parte dello sviluppo che ne seguì fu dovuto alla sua grande competenza ed ingegnosità in questo campo. In particolare, egli inventò un nuovo tipo di coincidenza veloce basato sull'uso di tubi ad emissione secondaria, una parte essenziale dell'apparecchiatura elettronica sviluppata più tardi ed utilizzata per la determinazione diretta della vita media del mesone, l'esperimento che Piccioni ed io avevamo in mente sul finire del 1941, quando decidemmo di lavorare insieme.*». Marcello ed Oreste insieme svilupparono un completo sistema di coincidenze ritardate che permetteva di registrare i conteggi per diversi valori di un ritardo introdotto artificialmente tra il segnale del mesone incidente e quello dell'elettrone di decadimento. La concezione dell'esperimento e le precauzioni prese risultarono paganti e l'esperimento poté dimostrare l'esistenza di un decadimento esponenziale con una vita media di  $2.3 \mu\text{s} \pm 6.5\%$  (fig. 3) — appena il 6% di scarto rispetto al valore oggi conosciuto —, ma diversa dai valori misurati da Rasetti ( $1.5 \pm 0.5$ ) e dal gruppo francese composto da Pierre Auger, Roland Maze e Robert Chaminade ( $1 \pm 0.3$ ), del quale Oreste e Marcello avevano ricevuto notizie durante la preparazione del loro esperimento.

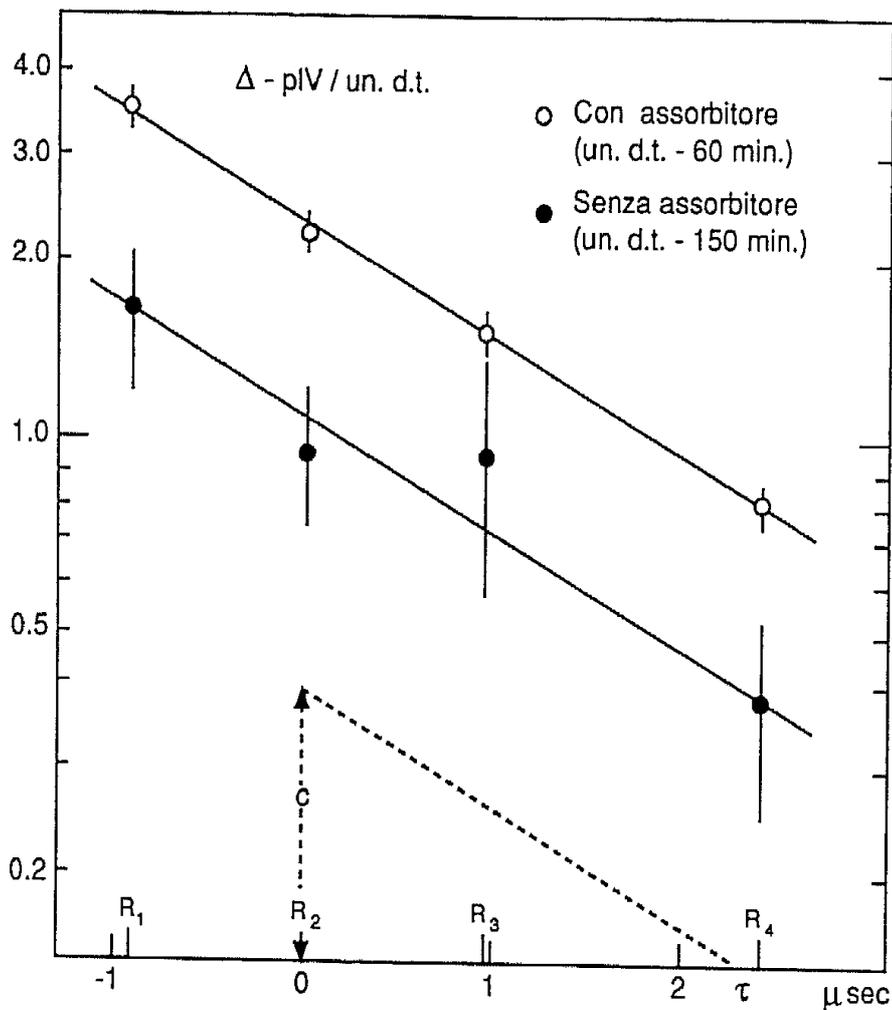


Fig. 3. - Decadimento esponenziale di muoni con assorbitore Fe 5 cm (punti superiori) e senza assorbitore (punti inferiori) (da [9]).

Sia Marcello che Oreste scrissero della loro soddisfazione nel constatare di essere stati i primi ad avere osservato il decadimento esponenziale del mesone  $\mu$  ed averne misurato la vita media con notevole precisione, dando un risultato che la coerenza interna delle misure indicava come corretto, nonostante la differenza rispetto ai risultati precedenti. Né toglie loro merito il fatto che, del tutto indipendentemente e circa contemporaneamente, negli Stati Uniti Bruno Rossi e Norris Nereson avevano ottenuto risultati simili. In Italia, infatti, poco o nulla si sapeva dell'esperimento americano poiché la guerra aveva quasi completamente interrotto le comunicazioni dopo il dicembre del 1941.

Ma la storia non finisce qui. Con la stessa apparecchiatura Marcello ed Oreste poterono infatti verificare anche la predizione di Tomonaga ed Araki, basata sulla teoria di Yukawa e l'identificazione del mesotrone quale particella responsabile delle forze nucleari, secondo la quale tutti i mesoni negativi avrebbero dovuto essere catturati dai nuclei ed assorbiti. Sapendo che il 55% dei mesoni incidenti erano positivi ed il restante 45% negativi, si trattava di determinare la frazione di mesoni che decadevano, tenendo conto dell'assorbimento degli elettroni nel moderatore. Per

questo, nuove misure vennero eseguite con un assorbitore di appena 6 mm di spessore e vennero poi confrontate con le precedenti misure con 5 cm di Fe (fig. 4). La particolare geometria del moderatore facilitava questo confronto. Da notare che Maze e Chaminade avevano rilevato, con un assorbitore di alluminio, che tutti i mesoni decadevano, mentre Rasetti aveva confermato le predizioni di Tomonaga ed Araki, anche se con un errore nettamente più grande di quello di Conversi e Piccioni che poteva lasciar adito a qualche dubbio. La teoria di Tomonaga ed Araki sembrava dunque confermata.

Per ottenere una prova ancora più diretta e assolutamente conclusiva della correttezza delle previsioni di Tomonaga ed Araki, sarebbe stato necessario fermare separatamente mesoni positivi e negativi, anche al fine di fugare ogni possibile incertezza dovuta alla perdita di elettroni nell'assorbitore (per esempio, a quei tempi si credeva che il decadimento del mesone fosse a due corpi, un elettrone ed un'altra particella, ma mancava una vera conferma sperimentale di questo). Marcello era già

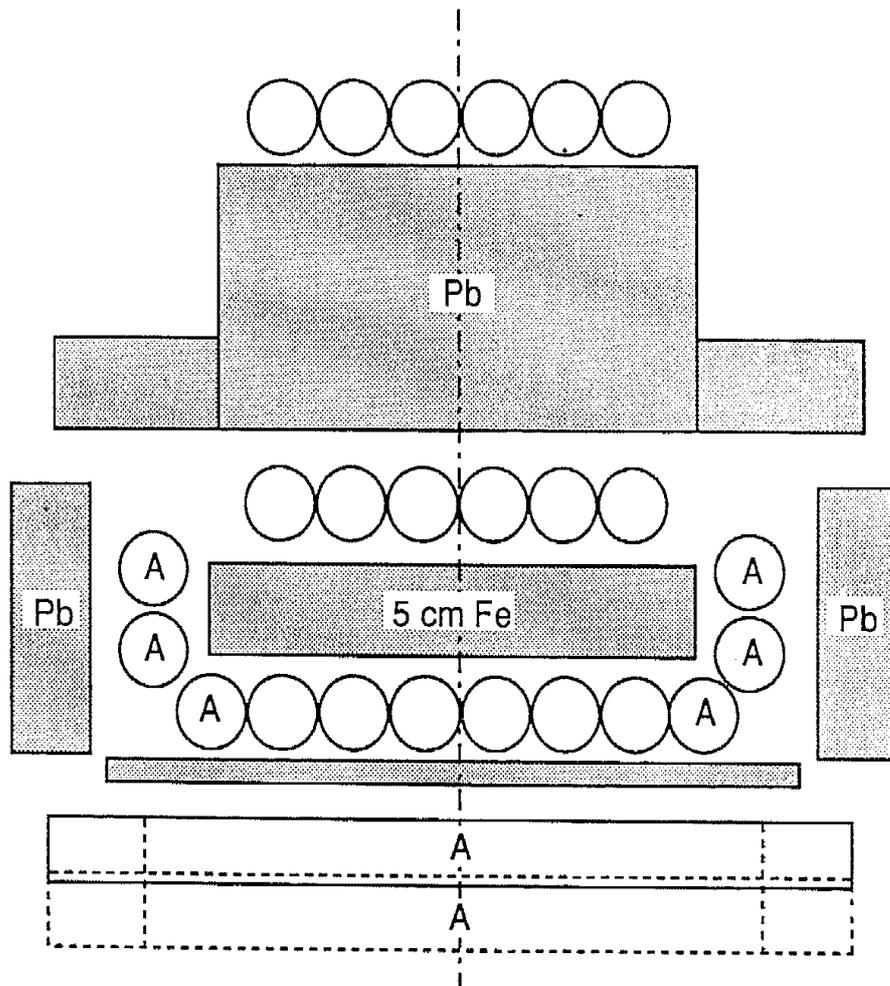


Fig. 4. – Schema di contatori di Geiger e Müller ed assorbitori per gli esperimenti 1 e 2. Dall'alto, il primo ed il secondo gruppo di sei contatori rivelano un muone in arrivo. Se il muone si ferma nell'assorbitore (5 cm Fe, nella figura) ed emette in seguito un elettrone, si ha una coincidenza ritardata. I muoni che attraversano i contatori A in anticoincidenza non vengono registrati. La sottile lastra di piombo impedisce agli elettroni in decadimento di raggiungere i contatori A (da [10]).

coinvolto, quale diretto collaboratore di Gilberto Bernardini, nella tecnica delle lenti magnetiche per raggi cosmici, suggerite da Puccianti e studiate da Rossi, e quindi conosceva bene questo argomento. L'esistenza di questa tecnica era ben nota a Roma. Marcello ed Oreste discussero a lungo della possibilità di utilizzare queste lenti per la separazione dei mesoni di segno diverso. Considerando velocità di conteggio, efficienza per la rivelazione delle particelle di segno desiderato e potere di reiezione per le particelle di segno contrario, conclusero che l'esperimento era fattibile. A proposito delle lenti di Puccianti e Rossi, vorrei ricordare per inciso la polemica su quale dei due vettori —  $H$  o  $B$  — fosse responsabile della deflessione nel ferro magnetizzato, risolta teoricamente da C.F. von Weizsacker.

L'esperimento con le lenti magnetiche fu il terzo della serie (fig. 5). A questo partecipò il compianto Ettore Pancini, persona dall'intelligenza assai vivace ed acuta, che precedentemente aveva espresso interesse per la linea di ricerca seguita da Conversi e Piccioni, e che aveva pensato alla possibilità di associare le lenti magnetiche al sistema a coincidenze ritardate, anche se, apparentemente, solo in termini generali. L'iniziativa di aggiungere le lenti magnetiche venne tuttavia presa da Conversi e Piccioni indipendentemente da Pancini. In quel periodo Pancini si trovava nell'Italia del Nord, ancora occupata dalle truppe tedesche e, impegnato come era nella lotta partigiana, era comunque irraggiungibile. Tuttavia, dopo la liberazione, Ettore tornò in tempo per partecipare alla raccolta dati e confermare che, mentre i mesoni positivi fermati nel ferro decadevano, tutti i negativi venivano catturati.

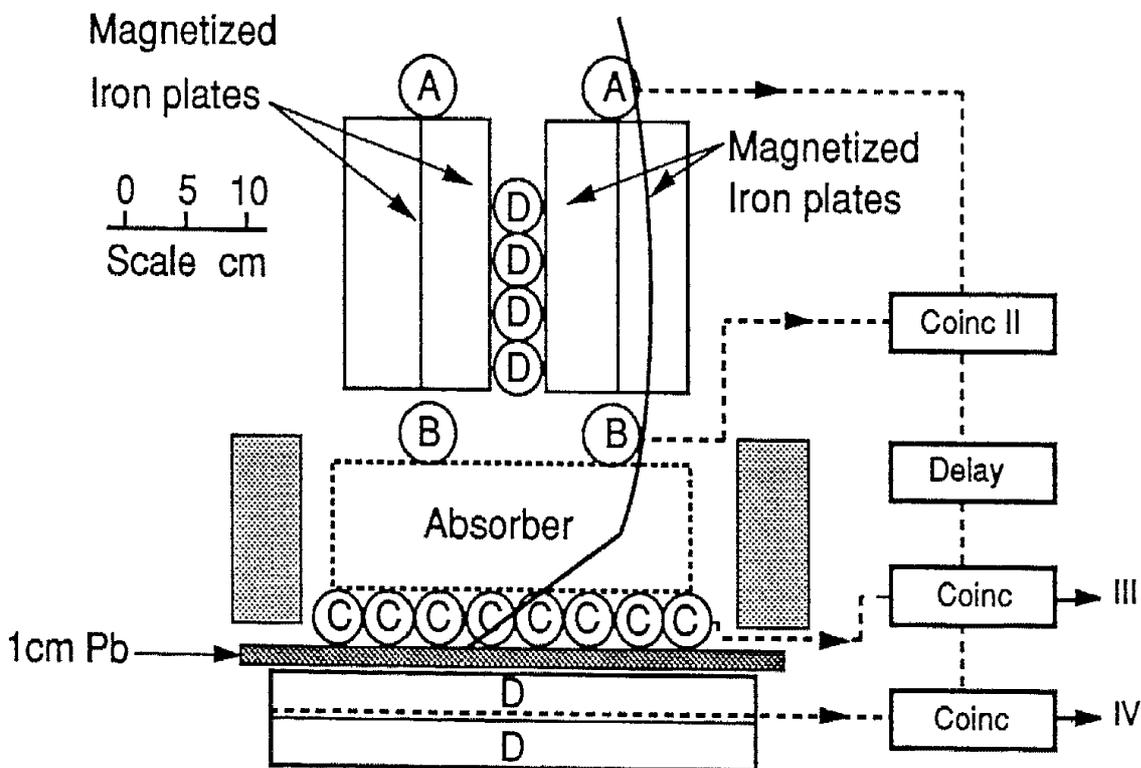


Fig. 5. - Schema degli esperimenti 3 (assorbitore ferro) e 4 (assorbitore carbonio). I contatori D sono in anticoincidenza (da [16], fig. 1).

L'esperimento fondamentale fu il quarto (fig. 5). A priori, una volta confermato definitivamente l'effetto Tomonaga-Araki, non avrebbe dovuto esserci alcun motivo per misurarne l'eventuale dipendenza dal numero atomico  $Z$ , in quanto i mesoni negativi avrebbero dovuto essere catturati in ogni caso, anche in idrogeno. Tomonaga ed Araki avevano predetto una dipendenza della probabilità di cattura dei negativi da  $Z$ , ma la cattura restava sempre di gran lunga predominante rispetto al decadimento. Perché venne allora deciso di continuare l'esperimento e di sostituire il ferro con il carbonio? Marcello sostiene nei suoi ricordi che due furono i motivi per la scelta di un materiale a più basso numero atomico del ferro: da una parte per fugare gli ultimi dubbi dato che sia Rasetti che i francesi avevano utilizzato alluminio, dall'altra per individuare l'eventuale decadimento del mesone in un elettrone ed un fotone. Piccioni, nei suoi ricordi, insiste particolarmente su questo punto che giustifica in pieno l'utilizzazione di carbonio (Piccioni eseguì infatti più tardi un esperimento per ricercare questo tipo di decadimento al M.I.T.).

Sostituito il carbonio al ferro, l'effetto Tomonaga-Araki scomparve: anche i mesoni negativi decadevano. Naturalmente, come sempre accade in questi casi, si pensò ad una difettosità dell'apparato e numerose prove vennero eseguite, senza successo. I mesoni negativi continuavano a decadere. Ancora una volta la fortuna era stata dalla parte di chi lo meritava.

Fin qui gli sperimentali. Venne quindi il turno dei teorici. Enrico Fermi, informato da Edoardo Amaldi, capì immediatamente la portata rivoluzionaria di questa scoperta. Con Edward Teller e Victor Weisskopf, giunse alla conclusione che esisteva una discrepanza di ben dodici ordini di grandezza fra il tempo di cattura predetto in carbonio per una particella di Yukawa ed il tempo osservato che non poteva essere inferiore al  $\mu\text{s}$  e concluse che, se i risultati sperimentali erano corretti, sarebbe stata necessaria una drastica revisione delle forme di interazione del mesotrone. Questo risultato venne annunciato da Fermi in un famoso seminario all'Università di Chicago nel dicembre del 1946, in cui a titolo scherzoso egli cominciò con lo scrivere alla lavagna i nomi degli autori dell'esperimento, aggiungendo che non osava pronunciarli (in inglese!). Anche il dubbio che il tempo di rallentamento dei mesoni avrebbe potuto essere molto più lungo in carbonio poté essere dissipato rapidamente.

Il risultato dell'esperimento di Roma — così può essere chiamato il quarto esperimento — provocò grande costernazione in quanto implicava una drastica revisione delle idee teoriche del tempo. Fortunatamente, questo periodo «difficile» terminò con la scoperta del mesone  $\pi$  e del suo decadimento in  $\mu$  da parte del gruppo di Bristol (Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell), ma già qualche mese prima, alla conferenza delle Shelter Islands nel giugno 1947, Robert Marshak ed Hans Bethe avevano avanzato (come anche Weisskopf) l'ipotesi dell'esistenza di due mesoni: un mesone prodotto per interazione forte che dà origine ad un secondo mesone il quale, a sua volta, interagisce con i nuclei molto più debolmente del primo. Si è poi scoperto che già nel 1943 e nel 1946, prima della conclusione dell'esperimento di Roma, Sakata ed Inoue avevano formulato in Giappone questa ipotesi nel tentativo di spiegare la piccola sezione d'urto dei mesotrone nell'interazione con la materia. Altro importante

contributo venne dato da Wheeler con la formulazione della legge  $Z^4$  per la probabilità di cattura dei  $\mu^-$  con nuclei di numero atomico  $Z$ . Chiaramente, con una dipendenza dalla quarta potenza di  $Z$ , l'uso dell'alluminio come moderatore ( $Z = 13$ ) invece del carbonio ( $Z = 6$ ) non avrebbe permesso di rivelare il fallimento delle predizioni di Tomonaga ed Araki.

Il mesotrone veniva così detronizzato dalla sua posizione di responsabile delle forze nucleari, entusiasticamente attribuita al mesone  $\pi$  che sembrava dovesse risolvere tutte le preoccupazioni dei fisici del tempo. Ma cosa era dunque questo mesotrone subito ribattezzato mesone  $\mu$ ? Quali nuove proprietà poteva avere? Fermi, Weisskopf e Teller lo avevano rimosso dal suo piedistallo ma non gli avevano dato una nuova funzione. Quale nuova proprietà avevano dunque scoperto Conversi, Pancini e Piccioni? Forse nessuno prevedeva a quei tempi che, chiudendo il capitolo delle interazioni forti, aperto dall'esperimento di Roma, un nuovo capitolo oggi non ancora chiuso si sarebbe aperto con la riscoperta del mesone  $\mu$ . Si può pensare che la prima pagina di questo capitolo sia quella scritta da Bruno Pontecorvo appena qualche mese dopo l'interpretazione di Fermi. Nel corso di un recente seminario al CERN, Bruno ha raccontato di aver seguito una strada diversa da quella di Fermi, quando osservò che la probabilità di cattura di un mesone negativo legato era dello stesso ordine di grandezza della probabilità di un ordinario processo di cattura  $K$  di un elettrone, tenendo opportunamente conto della differenza di massa fra le due particelle. «Noi assumiamo — così scriveva Pontecorvo nel giugno del 1947 — che questo è significativo e vogliamo discutere la possibilità di una fondamentale analogia tra i processi beta ed i processi di emissione ed assorbimento dei mesoni carichi». Nasceva così l'idea di una stessa natura per il mesone  $\mu$  e l'elettrone, che sfociò l'anno successivo, per opera di vari autori (fra cui il nostro Gianni Puppi), nell'idea dell'interazione universale di Fermi, in particolare nell'idea dell'universalità elettrone-mesone  $\mu$ , la cui validità poté essere provata definitivamente soltanto molti anni dopo, con un esperimento eseguito al CERN nel 1958.

Numerose altre pagine sono state scritte da altri autori e continuano ad essere scritte ancora oggi. In tempi più recenti, basti pensare a quelle sul collisionatore del CERN ed a quelle in corso di scrittura al LEP, mentre si prepara il futuro del LHC. Giorgio Salvini, Presidente di questa antica e gloriosa Accademia, ha recentemente avuto occasione di ricordare Marcello ai fisici della SIF e, nel suo articolo sul Nuovo Saggiatore, è possibile leggere quanto cammino è stato fatto nello studio dei «leptoni» — l'insieme di quelle particelle che interagiscono diversamente dai «barioni» — e delle loro proprietà dopo l'esperimento di Roma. Evito di dilungarmi ulteriormente e rinvio a quanto egli ha scritto. Ma non potrei concludere questa parte senza ricordare, pur tralasciando particolari che è possibile leggere altrove, che gli esperimenti ora descritti vennero eseguiti in tempi particolarmente difficili, durante il tempo di guerra ed in parte durante il periodo dell'occupazione tedesca di Roma, e che questo aggiunge un'altra dimensione alla figura di Marcello e dei suoi amici, dediti in quel tempo anche ad attività di tutt'altro genere: alla «resistenza» a Roma, alla lotta partigiana al Nord. È noto d'altra parte che, per questi motivi ed a causa di attività belliche, per un certo

periodo di tempo il lavoro sperimentale non venne svolto all'Istituto di Fisica ma presso il Liceo Virgilio, luogo che si riteneva schermato dagli attacchi aerei per la sua vicinanza al Vaticano.

Potrei ancora dilungarmi parlando di Marcello dopo il suo ritorno a Roma alla fine del suo periodo pisano e degli altri lavori eseguiti da lui e dai suoi collaboratori a Roma, al CERN ed in altri laboratori. Anche se si è sempre trattato di lavori di punta e che hanno indubbiamente lasciato una traccia importante, preferirei concludere a questo punto: *Marcello è entrato nella storia per quel che ha fatto, non per quello che io potrei ancora dire.*

#### ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI

- [1] G. BERNARDINI, M. CONVERSI, 1940. *Sulla deflessione dei corpuscoli cosmici in un nucleo di ferro magnetizzato*. La Ric. Scient., 11: 840 ss.
- [2] G. BERNARDINI, M. CONVERSI, E. PANCINI, G. C. WICK, 1941. *Sull'eccesso positivo della radiazione cosmica*. La Ric. Scient., 12: 1227 ss.
- [3] G. BERNARDINI, G. C. WICK, M. CONVERSI, E. PANCINI, 1941. *Positive Excess in Mesotron Spectrum*. Phys. Rev., 60: 535 ss.
- [4] M. CONVERSI, 1942. *Sulla frequenza degli sciami della radiazione cosmica in funzione della loro apertura angolare*. Atti della SIPS (Società Italiana per il Progresso delle Scienze), Roma.
- [5] M. CONVERSI, O. PICCIONI, 1942. *Un circuito di conteggio a demoltiplicazione di 16 con tubi a vuoto*. Nuovo Cimento, 1: 12 ss.
- [6] M. CONVERSI, 1943. *Sul ritardo degli impulsi nei contatori di Geiger-Müller*. Atti della SIPS, Roma.
- [7] M. CONVERSI, O. PICCIONI, 1943. *Sulle registrazioni di coincidenze a piccoli tempi di separazione*. Nuovo Cimento, 1; 279 ss.
- [8] M. CONVERSI, E. SCROCCO, 1943. *Ricerche sulla componente dura della radiazione penetrante eseguite per mezzo di nuclei di ferro magnetizzati*. Nuovo Cimento, 1: 372 ss.
- [9] M. CONVERSI, O. PICCIONI, 1944. *Misura diretta della vita media dei mesoni frenati*. Nuovo Cimento, 2: 40 ss.
- [10] M. CONVERSI, O. PICCIONI, 1944. *Sulla disintegrazione dei mesoni lenti*. Nuovo Cimento, 2: 71 ss.
- [11] G. BERNARDINI, M. CONVERSI, E. PANCINI, E. SCROCCO, G. C. WICK, 1945. *Researches on the magnetic deflection of the hard component of cosmic rays*. Phys. Rev., 68: 109 ss.
- [12] M. CONVERSI, E. PANCINI, O. PICCIONI, 1945. *On the decay process of positive and negative mesons*. Phys. Rev., 68: 232 ss.
- [13] M. CONVERSI, O. PICCIONI, 1946. *On the mean life of slow mesons*. Phys. Rev., 70: 859 ss.
- [14] M. CONVERSI, O. PICCIONI, 1946. *On the disintegration of slow mesons*. Phys. Rev., 70: 874 ss.
- [15] M. CONVERSI, F. NAPPO, 1947. *Due circuiti di anticoincidenza a pieno rendimento*. Nuovo Cimento, 4: 1 ss.
- [16] M. CONVERSI, E. PANCINI, O. PICCIONI, 1947. *On the Disintegration of Negative Mesons*. Phys. Rev., 71: 209 ss.
- [17] M. CONVERSI, E. PANCINI, O. PICCIONI, 1947. *Sull'assorbimento e sulla disintegrazione dei mesoni alla fine del loro percorso*. Nuovo Cimento, 3: 372 ss.
- [18] M. CONVERSI, E. PANCINI, O. PICCIONI, 1947. *Sul comportamento dei mesoni positivi e negativi alla fine del loro percorso*. Atti Acc. Lincei Rend. fis., s. 8, 2: 54-57.
- [19] M. CONVERSI, 1949. *Positive excess of mesons at 30,000 Feet*. Phys. Rev., 76: 311 ss.
- [20] M. CONVERSI, 1949. *Excess of positive mesons at 9.15 km above sea level*. Suppl. Nuovo Cimento, 6: 476 ss. (2ª versione di ref. [19]).

- [21] M. CONVERSI, 1949. *Latitude Dependence at 30,000 Feet of Penetrating Particles Slowed Down After Traversing 15 cm of Lead*. Phys. Rev., 76: 444 ss.
- [22] M. CONVERSI, 1949. *Altitude Dependence of Mesons of Energy between 224 and 225 MeV*. Phys. Rev., 76: 849 ss.
- [23] M. CONVERSI, 1949. *Altitude Dependence of Penetrating Particles Slowed Down After Traversing 15 cm of Lead*. Phys. Rev., 76: 851 ss.
- [24] M. CONVERSI, 1949. *Altitude Dependence and Latitude Dependence at 9,145 m of Penetrating Particles Slowed Down After Traversing 15 cm of Lead*. Suppl. Nuovo Cimento, 6 (2<sup>a</sup> versione di ref. [21] e [23]).
- [25] M. CONVERSI, 1950. *Un generatore di impulsi per l'analisi di circuiti di coincidenze*. Nuovo Cimento, 4: 674 ss.
- [26] M. CONVERSI, H. K. TICHO, 1950. *Un dispositivo per lo studio della produzione dei mesoni nella stratosfera*. Nuovo Cimento, 4: 677 ss.
- [27] M. CONVERSI, 1950. *Experiments on Cosmic-Ray Mesons and Protons at Several Altitudes and Latitudes*. Phys. Rev., 79: 749 ss.
- [28] P. L. BONFERRONI, M. CONVERSI, 1953. *Uno stimolatore elettronico comandato dai potenziali biologici*. Nuovo Cimento, 10: 835 ss.
- [29] M. CONVERSI, G. MARTELLI, I. F. QUERCIA, P. ROTHWELL, 1953. *Sulle esplosioni nucleari a 3.500 m sul l.d.m.* Suppl. Nuovo Cimento, 10: 315 ss.
- [30] M. CONVERSI, G. MARTELLI, P. ROTHWELL, 1953. *Sul rapporto tra i numeri di neutroni e di protoni e su alcune proprietà della componente nucleonica a 3500 m sul l.d.m.* Nuovo Cimento, 10: 898 ss.
- [31] M. CONVERSI, P. ROTHWELL, 1954. *Angular Distributions in Cosmic Ray Stars at 3,500 meters*. Nuovo Cimento, 12: 191 ss.
- [32] M. CONVERSI, 1954. *Particelle pesanti neutre*. Suppl. Nuovo Cimento, 12: 35 ss.
- [33] M. CONVERSI, A. GOZZINI, 1955. *The Hodoscope Chamber: a new Instrument for Nuclear Research*. Nuovo Cimento, 2: 189 ss.
- [34] M. CONVERSI, S. FOCARDI, C. FRANZINETTI, A. GOZZINI, G. P. MURTAS, 1956. *A New Type of Hodoscope of High Spacial Resolution*. Suppl. Nuovo Cimento, 4: 234 ss.
- [35] G. BARSANTI, M. CONVERSI, S. FOCARDI, G. P. MURTAS, C. RUBBLIA, G. TORELLI, 1956. *On the Hodoscope Chamber*. Proceedings CERN Symposium 1956, Geneva: 56 ss.
- [36] M. CONVERSI, E. FIORINI, C. GIORI, C. RUBBLIA, C. SUCCI, G. TORELLI, 1957. *Progetto di un'esperienza per la ricerca di particelle di massa 550 m<sub>e</sub>*. Proceedings International Conference on Mesons and Recently Discovered Particles, XIII-47, Padova-Venezia 1957.
- [37] F. EISLER, R. PLANO, A. PRODELL, N. SAMIOS, M. SCHWARTZ, J. STEINBERGER, P. BASSI, V. BORELLI, G. PUPPI, H. TANAKA, P. WALOSCHEK, V. ZOBOLI, M. CONVERSI, P. FRANZINI, I. MANNELLI, R. SANTANGELO, P. SILVESTRINI, D. A. GLASER, C. GRAVES, M. L. PERL, 1957. *Demonstration of Parity Nonconservation in Hyperon Decay*. Phys. Rev., 108: 1353 ss.
- [38] F. EISLER, R. PLANO, A. PRODELL, N. SAMIOS, M. SCHWARTZ, J. STEINBERGER, P. BASSI, V. BORELLI, G. PUPPI, H. TANAKA, P. WALOSCHEK, V. ZOBOLI, M. CONVERSI, P. FRANZINI, I. MANNELLI, R. SANTANGELO, P. SILVESTRINI, G. L. BROWN, D. A. GLASER, C. GRAVES, 1958. *Experimental Determination of the  $\Lambda^0$  and  $\Sigma^-$  Spins*. Nuovo Cimento, 7: 222 ss.
- [39] F. EISLER, R. PLANO, A. PRODELL, N. SAMIOS, M. SCHWARTZ, J. STEINBERGER, P. BASSI, V. BORELLI, G. PUPPI, H. TANAKA, P. WALOSCHEK, V. ZOBOLI, M. CONVERSI, P. FRANZINI, I. MANNELLI, R. SANTANGELO, P. SILVESTRINI, 1958. *Lifetime of  $\Lambda^0$ ,  $\theta^0$  and  $\Sigma^-$* . Nuovo Cimento, 10: 150 ss.
- [40] F. EISLER, R. PLANO, A. PRODELL, N. SAMIOS, M. SCHWARTZ, J. STEINBERGER, M. CONVERSI, P. FRANZINI, I. MANNELLI, R. SANTANGELO, P. SILVESTRINI, 1958. *Bubble Chamber Study of unstable particle production in  $\pi^-p$  collisions at 910, 960, 1200 and 1300 MeV*. Nuovo Cimento, 10: 468 ss.
- [41] F. EISLER, R. PLANO, A. PRODELL, N. SAMIOS, M. SCHWARTZ, J. STEINBERGER, M. CONVERSI, P. FRANZINI, I. MANNELLI, R. SANTANGELO, P. SILVESTRINI, 1958. *Leptonic Decay Mode of the Hyperons*. Phys. Rev., 112: 979 ss.
- [42] M. CONVERSI, E. FIORINI, S. RATTI, C. RUBBLIA, C. SUCCI, G. TORELLI, 1958. *A Search for Particles of 550 m<sub>e</sub>*. Nuovo Cimento, 9: 740 ss.

- [43] M. CONVERSI, 1959. *Le calcolatrici elettroniche e il Centro di Studi a Pisa*. Suppl. Nuovo Cimento, 11: 376 ss.
- [44] M. CONVERSI, A. EGIDI, E. FIORINI, G. M. DE MUNARI, S. RATTI, C. RUBBLA, C. SUCCI, G. TORELLI, 1959. *Dispositivo atto a selezionare nella radiazione cosmica eventuali particelle di massa intorno a  $550 m_e$* . Nuovo Cimento, 12: 130 ss.
- [45] M. CONVERSI, G. M. DE MUNARI, A. EGIDI, E. FIORINI, S. RATTI, C. RUBBLA, C. SUCCI, G. TORELLI, 1959. *Ricerca sulla esistenza di particelle di massa intorno a  $550 m_e$  nella radiazione cosmica*. Nuovo Cimento, 12: 148 ss.
- [46] M. CONVERSI, G. M. DE MUNARI, A. EGIDI, E. FIORENTI, S. RATTI, C. RUBBLA, C. SUCCI, G. TORELLI, 1959. *Mass 550 Particle*. Phys. Rev., 114: 1150 ss.
- [47] M. CONVERSI, L. DI LELLA, A. EGIDI, C. RUBBLA, M. TOLLER, 1960. *Search for electrons from muon capture*. Nuovo Cimento, 18: 1283 ss.
- [48] M. CONVERSI, 1961. *Il Centro di Studi sulle Calcolatrici Elettroniche all'Università di Pisa*. La Ricerca Scientifica, 1: 59 ss.
- [49] M. CONVERSI, L. DI LELLA, A. EGIDI, C. RUBBLA, M. TOLLER, 1961. *Sulla cattura nucleare di muoni negativi con emissione di elettroni*. Nuovo Cimento, 19: 987 ss.
- [50] M. CONVERSI, L. DI LELLA, A. EGIDI, C. RUBBLA, M. TOLLER, 1961. *Ricerca del processo  $m^- + N = e^- + N$* . Nuovo Cimento, 19: 999 ss.
- [51] M. CONVERSI, L. DI LELLA, A. EGIDI, C. RUBBLA, M. TOLLER, 1961. *On the nuclear capture of muons with electron emission*. Phys. Rev., 122: 687 ss.
- [52] M. CONVERSI, 1962. *Use of a Spark chamber in a search for neutrinoless conversion of muons into electrons*. Proceedings of the Harwell International Conference on Instrumentation for Nuclear Physics, p. 140.
- [53] M. CONVERSI, 1962. *Le calcolatrici elettroniche e la macchina costruita a Pisa*. Giornale di Fisica della SIF, Vol. III, n. 1.
- [54] M. CONVERSI, L. DI LELLA, G. PENSO, M. TOLLER, C. RUBBLA, 1962. *Search for conversion of muons into electrons*. Phys. Rev. Lett., 8: 126 ss.
- [55] G. CONFORTO, M. CONVERSI, L. DI LELLA, M. TOLLER, 1962. *High current fast triggering system for spark chambers*. Rev. Sci. Instr., 33: 7 ss.
- [56] G. CONFORTO, M. CONVERSI, L. DI LELLA, G. PENSO, C. RUBBLA, M. TOLLER, 1962. *Search for neutrinoless coherent nuclear capture of mesons*. Nuovo Cimento, 26: 261 ss.
- [57] M. CONVERSI, 1962. *L'automazione elettronica ed il Centro di Studi sulle Calcolatrici Elettroniche dell'Università di Pisa*. La Scuola in Azione, n. 10.
- [58] G. CONFORTO, M. CONVERSI, L. DI LELLA, 1962. *Observation of Radiative Capture of Negative Muons in Iron*. Phys. Rev. Lett., 9: 22 ss.
- [59] G. CONFORTO, M. CONVERSI, L. DI LELLA, 1962. *On Radiative Muon Capture*. Proceedings of the 1962 International Conference on High Energy Physics, CERN: 427 ss.
- [60] M. CONVERSI, T. MASSAM, TH. MÜLLER, A. ZICHICHI, 1963. *Search for time-like structure of the proton*. Phys. Lett., 5: 195 ss.
- [61] M. CONVERSI, R. DIEBOLD, L. DI LELLA, 1963. *Cattura radiativa del mesone  $\mu^-$  e la costante dell'accoppiamento pseudoscalare indotto*. Raccolta comunicazioni annuale Congressino dell'INFN, Frascati.
- [62] M. CONVERSI, R. DIEBOLD, L. DI LELLA, 1963. *Radiative muon capture in  $\text{Ca}^{40}$* . Proceedings of the International Conference on Elementary Particles, Sienna 1963.
- [63] M. CONVERSI, T. MASSAM, TH. MÜLLER, A. ZICHICHI, 1963. *An experiment on the time-like electromagnetic structure of the proton*. Proceedings of the International Conference on Elementary Particles, Sienna 1963.
- [64] M. CONVERSI, R. DIEBOLD, L. DI LELLA, 1963. *Radiative Muon Capture in  $\text{Ca}^{40}$  and the Induced Pseudoscalar Coupling Constant*. Proceedings of the International Conference on Fundamental Aspects of Weak Interactions, B.N.L. 9-11/9/1963.
- [65] M. CONVERSI, R. DIEBOLD, L. DI LELLA, 1964. *Radiative Muon Capture in  $\text{Ca}^{40}$  and the Induced Pseudoscalar Coupling Constant*. Phys. Rev., 136B: 1077 ss.

- [66] M. CONVERSI, T. MASSAM, TH. MÜLLER, A. ZICHICHI, 1964. *Proton-antiproton annihilation into muon pairs*. Proceedings of the International Conference on *High Energy Physics*, Dubna 1964.
- [67] M. CONVERSI, 1965. *Modi rari di annichilazione del sistema protone-antiprotone e struttura elettromagnetica del nucleone*. Rendiconti del Seminario Matematico e Fisico di Milano, vol. XXXV, 21 ss.
- [68] M. CONVERSI, T. MASSAM, TH. MÜLLER, A. ZICHICHI, 1965. *The time-like form factor of the nucleon and its consequences on the experiments with colliding electron-positron beams*. Proceedings of the Fifth International Conference on *High Energy Accelerators*, Frascati 1965.
- [69] M. CONVERSI, T. MASSAM, TH. MÜLLER, A. ZICHICHI, 1965. *The Leptonic Annihilation Modes of the Proton-Antiproton system at  $6.8(\text{GeV}/c)^2$  Timelike Four Momentum Transfer*. Nuovo Cimento, 40A: 690 ss.
- [70] M. CONVERSI, 1966. *Un esperimento di organizzazione scientifica*. Atti del Dibattito sui problemi dell'Università Italiana, febbraio 1966: 9 ss.
- [71] M. CONVERSI, 1966. *L'insegnamento della Fisica come ricerca*. Istituto Tecnico, Anno IV, n. 2-3-4.
- [72] B. BORGIA, M. CONVERSI, E. DI CAPUA, L. TAU, G. BARBIELLINI, R. DEL FABBRO, C. PELLEGRINI, S. TAZZARI, 1966. *A Projected Experiment on Muon Pair Production with Adone*. Proceedings of International Conference at Orsay, VIIa 4-1.
- [73] M. CONVERSI, 1967. *I leptoni*. Museo Scienza, n. 3.
- [74] M. CONVERSI, 1967. *L'automazione elettronica*. La Stampa, 28/10/1967: 13.
- [75] G. BARBIELLINI, B. BORGIA, M. CONVERSI, G. IORIO, R. SANTONICO, 1968. *Un dispositivo per la misura della luminosità assoluta di macchina a fasci collidenti di elettroni*. Nota Interna n. 155, Istituto di Fisica, Università di Roma.
- [76] G. BARBIELLINI, B. BORGIA, M. CONVERSI, R. SANTONICO, 1968. *A Monitoring System to measure the absolute luminosity of a machine operating with  $e^+ e^-$  colliding beams*. Atti Acc. Lincei Rend. fis., s. 8, 44: 233-239.
- [77] M. CONVERSI, 1969. *Discorso al XXI Congresso Nazionale di Filosofia*. In: *L'uomo e la macchina*. vol. III, Edizioni di «Filosofia», Torino.
- [78] Frascati-Roma-Padova Collaboration. Relazioni presentate al 15th International Conference on *High Energy Physics* (Kiev, 1970); LNF-70/38 (1970).
- [79] M. CONVERSI, 1970. *Preliminary Results on Bhabha Scattering, Muon Pair Annihilation and Hadron Production by  $e^+ e^-$  Colliding Beams in the GeV Region*. Nota Interna n. 281, Istituto di Fisica, Università di Roma.
- [80] M. CONVERSI, 1971. *The Italian Physics after Fermi*. Proceedings of the Japanese Physical Society: 414 (in giapponese).
- [81] Frascati-Roma-Maryland-Padova Collaboration, 1971 (presented by M. Conversi): *Production of Multi-body Events by  $e^+ e^-$  Colliding Beams*, Proceedings of First EPS Conference on *Meson Resonances and Related Electromagnetic Phenomena*, Editrice Compositori, Bologna.
- [82] M. CONVERSI, 1971. *Remark at the First EPS Conference*. (See ref. [81]).
- [83] M. CONVERSI, 1971. *Preliminary results on Bhabha Scattering muon pair annihilation and Hadron production by  $e^+ e^-$  colliding beams in the GeV Region*. In: A. ZICHICHI (ed.), *Elementary process at high energy*. Academic Press, New York: 548 ss.
- [84] B. BORGIA, F. CERADINI, M. CONVERSI, L. PAOLUZI, W. SCANDALE, G. BARBIELLINI, M. GRILLI, P. SPILLANTINI, R. VISENTIN, 1971. *Test of quantum electrodynamics by Bhabha scattering in the GeV region*. Phys. Lett., 35B: 340 ss.
- [85] B. BORGIA, M. CONVERSI, M. GRILLI, E. IAROCCHI, M. NIGRO, L. PAOLUZI, P. SPILLANTINI, L. TRASATTI, V. VALENTE, R. VISENTIN, G. T. ZORN, 1971. *Hadron Production by  $e^+ e^-$  Colliding Beams in the GeV Region ( $2E = 1.4-2.4 \text{ GeV}$ )*. Proceedings of International Symposium on *Electron and Photon Interactions*, Ithaca 1971, and LNF-71/62.
- [86] M. CONVERSI, 1971. *Experiments on Electron Positron Colliding Beams*. In: A. DONNACHIE (ed.), Proceedings of Daresbury Study Week-end n. 2, p. 85, and Nota Interna n. 343 Istituto di Fisica, Università di Roma.

- [87] B. BORGIA, F. CERADINI, M. CONVERSI, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, G. BARBIELLINI, M. GRILLI, P. SPILLANTINI, R. VISENTIN, F. GIANNOLI, 1972. *Muon Pair Production by Electron-Positron Collisions in the GeV region*. Lett. Nuovo Cimento, 3: 115 ss.
- [88] M. CONVERSI, G. GIANNOLI, P. SPILLANTINI, 1972. *Use of flash-tube hodoscope chambers with particle accelerators*. Lett. Nuovo Cimento, 3: 483 ss.
- [89] G. BARBARINO, M. GRILLI, E. IAROCCI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, R. VISENTIN, F. CERADINI, M. CONVERSI, I. PAOLUZI, R. SANTONICO, M. NIGRO, L. TRASANI, G. T. ZORN, 1972. *Observation of a Broad Peak in the Production of four Charged Pions by  $e^+e^-$  Collisions around 1.6 GeV*. Lett. Nuovo Cimento, 3: 689 ss.
- [90] G. BARBARINO, M. GRILLI, E. IAROCCI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, R. VISENTIN, F. CERADINI, M. CONVERSI, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, M. NIGRO, L. TRASATTI, G. T. ZORN, 1972. *Evaluation of Photon-Photon Annihilation Contributions in a Wide Angle Experiment at Adone*. Frascati Report LNF-72/42.
- [91] F. CERADINI, M. CONVERSI, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, M. GRILLI, E. IAROCCI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, R. VISENTIN, M. NIGRO, 1972. *Multiplicity in Hadron Production by  $e^+e^-$  Colliding Beams*. Phys. Lett., 42B: 501 ss.
- [92] M. GRILLI, E. IAROCCI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, R. VISENTIN, B. BORGIA, F. CERADINI, M. CONVERSI, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, M. NIGRO, L. TRASATTI, G. T. ZORN, 1973. *Multihadron production in  $e^+e^-$  collisions at high energy*. Nuovo Cimento, 13A: 593 ss.
- [93] F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, K. EKSTRAND, M. GRILLI, E. IAROCCI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, R. VISENTIN, M. NIGRO, 1973. *Analysis of the Decay Modes of the '(1600) Meson'*. Phys. Lett., 43B: 341 ss.
- [94] G. BARBIELLINI, M. GRILLI, E. IAROCCI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, R. VISENTIN, F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, G. GIANNOLI, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, M. NIGRO, L. TRASATTI, G. T. ZORN, 1973. *Hadron Pair Production by Electron-Positron Colliding Beams*. Lett. Nuovo Cimento, 6: 557 ss.
- [95] G. BROSCO, M. CONVERSI, M. GIOVANNINI, 1973. *Fast Flash-Tube Hodoscope Chambers*. Nucl. Instr. & Meth., 111: 477 ss.
- [96] M. CONVERSI, 1973. *Recent Developments in the Hodoscope Chamber Technique*. Rivista del Nuovo Cimento, 3: 233 ss.
- [97] M. CONVERSI, G. BROSCO, 1973. *Flash-Tube Hodoscope Chambers*. Annual Review of Nuclear Science, 23: 75 ss.
- [98] M. CONVERSI, 1973. *Use of Flexible Plastic Tubes for Automatic Recording of Particle Tracks*. Nature (Phys. Sci), 241: 160 ss.
- [99] M. CONVERSI, L. FEDERICI, Q. TACCETTI, 1973. *Plastic Chambers*. Proceedings of 1973 International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Frascati: 184, and Nota Interna n. 467, Istituto di Fisica, Università di Roma.
- [100] M. CONVERSI, 1973. *Progress in Flash-tube and other Hodoscope Chambers*. Proceedings of 1973 International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Frascati (Invited paper): 126.
- [101] G. BROSCO, A. CIALDEA, M. CONVERSI, B. ZOLESI, 1973. *Effects of Impurities and Alternate Electric Fields on Flash-Tube Sensitive and Recovery Times*. Proceedings of 1973 ICIHEP, Frascati: 211 ss.
- [102] M. CONVERSI, S. D'ANGELO, R. GATTO, L. PAOLUZI, 1973. *Limits to Possible Scalar-Boson Mass and Coupling from  $e^+e^-$  Collisions*. Phys. Lett., 46B: 269 ss.
- [103] F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, R. VISENTIN, 1973. *Multihadron Production in  $e^+e^-$  Collisions up to 3 GeV Total c.m. Energy*. Phys. Lett., 47B: 80 ss.
- [104] M. CONVERSI, 1974. *Experiments with  $e^+e^-$  Colliding Beams*. Proceedings of DESY Seminar on *ep and ee Storage Rings*, Hamburg, 18/12 October 1974.
- [105] M. CONVERSI, 1974. *A Simple Particle Counter for Complex Detection Systems*. Rev. Sci. Instr., 45: 1411 ss.
- [106] F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, M. L. FERRER, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, G. BARBIELLINI, S. ORITO, T. TSURU, R. VISENTIN, 1974. *Investigation of Photon-Photon Interactions by  $e^+e^-$  Beams Colliding with 2.7 GeV Total Energy*. Journ. de Phys., C2, 35: 2 ss.

- [107] S. ORITO, R. VISENTIN, F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, L. PAOLUZI, R. SANTONICO, 1974. *A Search for Heavy Leptons with  $e^+ e^-$  Colliding Beams*. Phys. Lett., 48B: 165 ss.
- [108] G. BARBIELLINI, S. ORITO, T. TSURU, R. VISENTIN, F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, M. L. FERRER, L. PAOLUZI, R. SANTONICO. *Muon Pair Production by Photon-Photon Interactions in  $e^+ e^-$  Storage Rings*. Phys. Rev. Lett., 32: 385 (1974), and LNF 73/63 (1973).
- [109] M. CONVERSI, L. PAOLUZI, F. CERADINI, S. D'ANGELO, M. L. FERRER, R. SANTONICO, M. GRILLI, P. SPILLANTINI, V. VALENTE, 1974. *On the possible existence of a vector meson (1250)*. Phys. Lett., 52B: 493 ss.
- [110] M. CONVERSI, 1975. *Feasibility of Combining Emulsion, Bubble-Chamber and Counter Techniques to Study «New Short-Lived Particles» Produced by Neutrinos*. CERN-NP Internal Report 75-17.
- [111] M. CONVERSI, 1976.  *$e^+ e^-$  Physics*. Proceedings of the Symposium on *Frontier Problems in High Energy Physics*, Scuola Normale Superiore, Pisa 1976 (Invited paper), and CERN Report, 1976.
- [112] M. CONVERSI, L. FEDERICI, S. GENTILE, M. NARDI, 1976. *A Low Cost Electrically Pulsed Shower Detector*. CERN EP Internal Report 76-20 (26/9/76).
- [113] E. H. S. BURHOP *et al.*, 1976. *Observation of a Likely Example of the Decay of a Charmed Particle Produced in a High Energy Neutrino Interaction*. Phys. Lett. 65B: 299 ss.
- [114] M. CONVERSI, 1977. *Produzione di eventi multiadronici nelle collisioni elettrone-positrone*. In: *Una nuova via italiana alla fisica delle alte energie: Ada, Adone...* Contributi del Centro Linceo Interdisciplinare di Scienze Matematiche e loro Applicazioni, Acc. Naz. dei Lincei, n. 33, Roma (24-25/5/1974): 75 ss.
- [115] M. CONVERSI, L. FEDERICI, 1978. *Flash Chambers of Plastic Material*. Nucl. Instr. Meth., 151.
- [116] L. FEDERICI, M. NARDI, F. CERADINI, M. CONVERSI, 1978. *A Low-Cost Total Absorption Track Detector of High Energy Physics*. Nucl. Instr. Meth., 151: 103 ss.
- [117] M. CONVERSI, C. VERKERK 1979. *Flash Chambers as «Active» Detectors and Special Processor for Fast Decision Making*. Nucl. Instr. Meth., 158: 217 ss.
- [118] M. CONVERSI, S. PETRERA, R. SANTONICO, F. SEBASTIANI, 1979. *A Method Allowing Long Emulsion Exposures to High Energy Neutrinos also in the Presence of Intense Time-Uncorrelated Background*. Nucl. Instr. & Meth., 161: 59 ss.
- [119] C. ANGELINI *et al.*, 1979. Ankara-Bruxelles-Cern-Dublin-London-Pisa-Roma-Torino Collaboration. *Observation of a Second Charmed Particle Produced by a High Energy Neutrino and Decaying after a Few Times  $10^{-13}$  s*. Phys. Lett., 80B: 428 ss.
- [120] A. L. READ *et al.*, 1979. Batavia-Bruxelles-Dublin-London-Milton-Keynes-Mulhouse-Rome-Strasbourg Collaboration. *Search for Short-lived Particles in High Energy Neutrino Interactions Identified Using a Hybrid Emulsion Spark-Chamber Arrangement*. Phys. Rev., D19: 1287 ss.
- [121] M. CONVERSI, F. LACAVA, 1979. *Particle Identification by Plastic Flash Chambers*. Nucl. Instr. Meth., 161: 219 ss.
- [122] C. ANGELINI *et al.*, 1979. Ankara-Bruxelles-Dublin-London-Pisa-Rome-Turin Collaboration. *On the Lifetime of Charged Charmed Particles First Direct Observation of a Charmed Baryon Decay*. Phys. Lett., 84B: 150 ss.
- [123] M. CONVERSI, 1979. *Lifetime of Charmed Hadrons Produced in Neutrino Interactions*. Proceedings of International EPS Conference, Geneva 1979, 140 ss.
- [124] D. ALLASIA *et al.*, 1979. Ankara-Brussels-Dublin-London-Pisa-Rome-Turin Collaboration. *First Direct Observation of the Decay of Neutral Charmed Particles Produced by Neutrinos in Emulsion*. Phys. Lett., 87B: 287 ss.
- [125] D. ALLASIA *et al.*, 1980. Ankara-Brussels-Cern-Dublin-London Open University Pisa-Rome-Turin Collaboration. *Investigation of the decay of charmed particles produced in neutrino interactions*. Nucl. Phys., B176: 13 ss.
- [126] M. CONVERSI, 1980. *Future Large European Underground Experiments*. In: V. S. STENGER (ed.), Proceedings of the 1980 International DUMAND Symposium (Hawaii DUMAND Center, July 24-August 2), 2: 10 ss.

- [127] M. CONVERSI, 1981. *The GUD Project*. Proceedings of the Workshop on *Physics and Astrophysics with a Multikiloton Modular Underground Track-Detector*, Rome 29-31/10/81 (preprint CERN EP International Report 81-13, December 14, 1981).
- [128] M. CONVERSI, 1982. *GUD for GUT, SUSY ... and High Energy Physics and Astrophysics*. *Supersymmetry vs. Experiment Workshop*, p. 141, CERN TH-3311/EP 82/63.
- [129] G. BRESSI *et al.*, 1982. *The neutron-antineutron oscillation experiment at the Triga Mark 11 reactor of the University of Pavia*. Proceedings of «ICOMAN» Workshop, Bombay: 212 ss.
- [130] M. CONVERSI, 1982. *The development of the flash and spark chambers in the 1950's*. Colloque International sur l'Histoire de la Physique des Particules, Journal de Physique, supplement au n 12: C8-91.
- [131] M. CONVERSI, 1983. *Perspectives of research in fundamental Physics and Astrophysics in the Gran Sasso Underground Laboratory*. Proceedings of *8th European Cosmic Ray Symposium*, p. 159, Rome 1983. AIP Conference Proceedings on *Science Underground*, (Los Alamos, New Mexico), American Institute of Physics, (1983).
- [132] M. CONVERSI, 1983. *The period that led to the 1946 discovery of the leptonic nature of the mesotron*. In: L. M. BROWN-L. HODDESON (eds.), *The Birth of Particle Physics*. Cambridge University Press, p. 242. Also as preprint, CERN Internal Report 75.17 (1980).
- [133] M. CONVERSI, 1983. *Dalla scoperta dell'interazione debole a quella della «luce pesante»*. *Corr. Scienze*, (Dicembre 1983).
- [134] M. CONVERSI, 1984. *Primi passi di Carlo Rubbia nella ricerca*. In: A. BERTIN - A. VITALE (eds.), *La Luce Pesante*, Poligrafici Editoriale - Il Resto del Carlino - incontri, Bologna: 193.
- [135] M. CONVERSI, 1984. *Cinquanta anni di interazioni deboli dalla teoria di Fermi alla scoperta dei bosoni pesanti*. Lezione tenuta il 10 febbraio 1984 per l'inaugurazione del «Dottorato di Ricerca Fisica» all'Università degli Studi di Pavia. Nota Interna n. 842, Istituto di Fisica, Università di Roma, 1985. *Scientifica Acta*, Quaderni del Dottorato, Vol. 1, n. 1, 1986.
- [136] M. CONVERSI, 1984. *Fisica dei laboratori sotterranei*. In: *Scienza e Tecnica*, Annuario della EST Mondadori, Milano: 106-130.
- [137] M. CONVERSI, 1984. *Early Study of Muons and Muon Decay*. Proceedings of International Conference on *Fifty years of weak Interactions*, Wingspread, Racine, Wisconsin, USA, Madison: 154-166.
- [138] M. CONVERSI, 1984. *È il nostro Universo stabile?*. In: *La Natura della Materia*, Edizioni Dedalo, Bari: 61-82.
- [139] M. CONVERSI, 1985. *Niels Bohr*. In: *IERI, 1985*. Edizioni RAI, ERI, Torino: 129 ss.
- [140] M. CONVERSI, 1985. *L'intricata storia del muone*. *Il Nuovo Saggiatore*, Bollettino della SIF, Editrice Compositori, Bologna: 33-40.
- [141] M. CONVERSI, 1985. *From the Discovery of the Weak Interaction to that of its Mediators*. *Energia Nucleare*, anno 2, n. 1.
- [142] M. CONVERSI, 1985. *La Physique des Laboratoires Souterains*. *La Recherche*, n. 166: 600-611.
- [143] M. CONVERSI, 1985. *I raggi cosmici*. Saggio per il volume dedicato alla mostra *Energia* (Bologna, 9 febbraio - 25 aprile 1985).
- [144] M. CONVERSI, 1985. *ICARUS ...: una sfida*. *Notiziario INFN*, Frascati: 7-8.
- [145] M. CONVERSI, 1985. *Il muone*. Voce-quadro per il *Dizionario delle Scienze Fisiche*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma.
- [146] M. CONVERSI, 1985. *Il significato della scoperta della luce pesante*. Apparso con il titolo *Il mio allievo Carlo Rubbia*, su *Scienza e Vita nuova*.
- [147] M. CONVERSI, 1985 (in collab. con fisici del CERN-Harvard-Milano-Padova-Roma-Tokyo-Wisconsin; spokesman C. Rubbia). *Searching for New Underground Phenomena with High Resolution Visual Techniques and Magnetic Analysis*. (ICARUS). INFN/AE-85/7, Servizio Documentazione dei Laboratori Nazionali di Frascati (Frascati, settembre 1985).
- [148] M. CONVERSI, 1985. *Camera visualizzante a comando elettronico*. Voce-quadro per il *Dizionario delle Scienze Fisiche*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma.
- [149] M. CONVERSI, 1986. *I raggi cosmici*. *Energia e Materia*, Publ. Paolini Editore, Bologna.

- [150] M. CONVERSI, M. FERRO-LUZZI, F. MASSA, E. PAGIOLA, J. M. PERRAU, 1986. *The External Muon Detector for ICARUS*. Nota ICARUS n. 11 (30/12/85) e Nota Interna n. 863, Dipartimento di Fisica, Università «La Sapienza», Roma.
- [151] M. CONVERSI, 1986. *Il CERN un esempio di collaborazione europea nell'ambito della fisica subnucleare*. Atti del XXV Congresso Nazionale della Nuova Accademia delle Scienze (20-21 marzo 1986), su *La Cooperazione scientifica e tecnologica in Europa*, Ed. «Nuova Scienza», Roma: 203.
- [152] G. BRESSI *et al.*, 1987. *An apparatus to search for free neutron-antineutron oscillations*. Nucl. Instr. & Meth., A261: 449 ss.
- [153] M. CONVERSI, 1988. *From the discovery of the mesotron to that of its leptonic nature*. In: B. FOSTER - P. H. FOWLER (eds.), *Proceedings of the International Conference to Celebrate the 40th Anniversary of the Discovery of the  $\pi$  and V-particles*. University of Bristol (22/24 July 1987).
- [154] M. CONVERSI, 1988. *La storia del muone*. Sapere, n. 2, (904), febbraio.