

Bollettino della Società Italiana di Fisica  
Nuova Serie Anno 19  
N. 3 maggio-giugno 2003  
N. 4 luglio-agosto 2003



Comitato di Redazione:  
Giuseppe-Franco Bassani, Enrico Bel-  
lotti, Luisa Cifarelli, Vincenzo Grasso,  
Roberto Habel, Angiolino Stella, Andrea  
Taroni, Antonio Vitale

Direttore Editoriale:  
Andrea Taroni

Responsabile di produzione:  
Angela Oleandri

Hanno inoltre collaborato a questo nume-  
ro: G. Andrei, G.F. Bassani, S.M. Bilenky,  
V. Degiorgio, A. De Gregorio, S. Focardi,  
P. Galeotti, R. Habel, P.C. Merli, G.F. Mis-  
siroli, F.L. Navarra, G. Piragino, G. Pon-  
tecorvo, G. Pozzi, E. Recami, T. Rovelli, G.  
Salvini, N. Tinti e A. Zichichi

Copertina a cura di Simona Oleandri

Segreteria di Redazione:  
Carmen Vasini

Direzione e Redazione:  
Società Italiana di Fisica  
Via Saragozza 12  
40123 Bologna  
Tel. 051331554 / 051581569

Questo fascicolo è stato realizzato in Fo-  
tocomposizione dalla Monograf, Bologna  
e Stampato dalla Tipografia Compositori  
nel mese di Settembre 2003

Autorizzazione del Tribunale di Bologna  
n. 3265 del 3/5/1967

© Società Italiana di Fisica  
Proprietà Letteraria Riservata

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna  
parte della rivista può essere riprodotta  
in qualsiasi forma (per fotocopia, micro-  
film o qualsiasi altro procedimento), o  
rielaborata con uso di sistemi elettronici,  
o riprodotta, o diffusa, senza autorizza-  
zione scritta dell'editore

 USPI Associato all'Unione  
Stampa Periodica Italiana

SIF, Bologna

# IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Direttore Responsabile  
Giuseppe-Franco Bassani

Vicedirettori  
Antonio Bertin e Antonio Vitale

Comitato Editoriale  
E. Arimondo, G. Benedek, N. Cabibbo, S. Focardi,  
E. Iarocci, P. Picchi, e R.A. Ricci

## OPINIONI

- 3 Breve *reply* all'articolo «Più veloci della luce?» di F.  
Selleri  
*E. Recami*

## IL NOSTRO MONDO

INAUGURAZIONE DEL BUSTO BRONZEO DI EMILIO SEGRÉ,  
7 GIUGNO 2003

- 5 Presentazione  
*R. Habel*
- 6 Celebrato a Tivoli Emilio Segré  
*G. Andrei*
- 8 I Quattro ragazzi di via Panisperna  
*A. Zichichi*
- 13 Emilio Segré: La sua vita e le sue opere  
*G.F. Bassani*
- 21 La didattica *on-line* sul sito ISHTAR  
*F.L. Navarra, T. Rovelli e N. Tinti*
- 27 Ricordo di GianPiero Banfi  
*V. Degiorgio*

## PERCORSI

- 28 La scoperta dei bosoni carichi intermedi nel gennaio del  
1983: venti anni orsono  
*G. Salvini*
- 37 L'esperimento di interferenza degli elettroni singoli  
*P.G. Merli, G.F. Missiroli e G. Pozzi*
- 41 Sulla scoperta della proprietà delle sostanze idrogena-  
te di accrescere la radioattività indotta dai neutroni  
*A. De Gregorio*

## 49 SCIENZA IN PRIMO PIANO

Le oscillazioni del neutrino  
*S.M. Bilenky, P. Galeotti, G. Piragino e G. Pontecorvo*

## 56 RECENSIONI

### SCELTI PER VOI

- 59 Radioscopie coi raggi cosmici – Metabonomica – Un ma-  
gnetometro atomico di elevata sensibilità

## 60 ANNUNCI

# OPINIONI

**Breve reply all'articolo  
"Più veloci della luce?" di F. Selleri**  
[Il Nuovo Saggiatore 18 (5-6) (2002)  
43-48].

Nell'articolo di F. Selleri sopra citato, e apparso su questa Rivista, chi scrive è stato chiamato in causa circa la soluzione da lui, e collaboratori, fornita per i noti presunti paradossi causali, che a prima vista appaiono generati dalla possibile esistenza di oggetti Superluminali "asintoticamente liberi". Siamo lieti che vengano rivisitate oggi questioni che furono trattate esaurientemente agli inizi degli anni settanta, per venire poi quasi dimenticate. In effetti, da almeno dieci anni sono diventati molto numerosi<sup>(1)</sup> gli articoli teorici, sperimentali, relativi ad oggetti con velocità di gruppo Superluminale (e riguardanti, soprattutto, da un lato le soluzioni localizzate "X-shaped" delle equazioni di Maxwell o più in generale dell'equazione d'onda<sup>(2)</sup>, e dall'altro i "tunnelling photons" e le onde evanescenti<sup>(2)</sup>, ma varie questioni di principio sono rimaste neglette. In particolare, non sono più stati seriamente studiati, nell'ambito della Relatività Speciale (RS), i problemi causali di cui sopra, benché essi — e le loro soluzioni — siano concettualmente interessanti e stimolanti, se non *amusing*.

I paradossi ripresentati e discussi da F. Selleri, però, furono già formulati<sup>(3)</sup>, e risolti, in numerosissimi articoli, cosicché sembra più opportuno non dedicarvi qui ulteriore spazio, ma rimandare alle pp. 72-77 della nostra rassegna "Classical tachyons and possible applications", *Rivista Nuovo Cim.* 9, No. 6 (1986) 1-178, e, più ancora, alle pp. 282-288 della nostra review "Tachyon mechanics and causality: A systematic thorough analysis of the tachyon causal paradoxes", *Found. Phys.* 17 (1987) 239-296: pagine, e lavori, che paiono essere sfuggiti a F. Selleri. Cogliamo l'occasione per ricordare, ad esempio, che un paradosso — *amusing*, appunto — ci fu suggerito da John Bell (il quale accettò la nostra soluzione, e ci autorizzò esplicitamente ad attribuirgli e pubblicare il detto paradosso, e la nostra risposta).

Due ultime considerazioni. La prima è che la RS si basa sul ruolo eccezionale giocato dalla velocità  $c$ , in quanto *invariante* per tutti gli osservatori inerziali. L'eventuale esistenza di oggetti Superluminali non tocca il ruolo di tale velocità  $c$ , così come non lo tocca l'esistenza degli

oggetti subluminali. E in effetti sembra proprio che la vecchia RS di Einstein-Minkowski (quando venga generalizzata o, meglio, quando non venga ristretta di proposito a velocità  $v < c$ ) possa descrivere — oltre a particelle e antiparticelle, cosa, pure, non del tutto nota — anche bradioni e tachioni. Senza che vengano violati i suoi postulati standard: Principio di Relatività, e Omogeneità dello spaziotempo più Isotropia dello spazio; dai quali seguono e l'esistenza di una velocità invariante, e il "principio di causalità ritardata" (ovvero il fatto che ogni osservatore vedrà ciò che per lui è la causa avvenire prima, cronologicamente, di ciò che per lui è l'effetto). Al contrario, l'esistenza di un riferimento privilegiato (invocato ora da F. Selleri, e invocato in passato, allo stesso scopo, da vari altri autori) non ha diritto di cittadinanza all'interno della RS. Certo, la realtà fisica è più ricca di quanto possa essere descritto dalla RS, e in altri contesti potrà esistere un riferimento assoluto (costituito magari dall'insieme delle galassie, o dalla radiazione di fondo, o, in un certo senso, dalla stesso *continuum* spazio temporale della relatività generale): ma in RS, ove tutti gli osservatori sono associati a spaziotempi identici, piatti ed infinitamente estesi, non c'è proprio motivo di privilegiarne uno; e Einstein adottò la scelta più semplice, elegante, logica. Ricordiamo, a questo punto, che ogni teoria relativistica richiede che, passando da un osservatore ad un altro della classe prescelta — quella degli osservatori inerziali, per esempio —, restino invariati (in forma) le leggi, e non certo i singoli elementi della *descrizione* fornita da ogni osservatore; quando si prendono in considerazione anche i tachioni, avviene ciò che già avvenne con la introduzione della Relatività Speciale "ristretta": possono cioè avvenire cambiamenti degli elementi descrittivi a cui non siamo abituati, per la qual cosa occorre prudenza nell'usare i precedenti (inveterati) automatismi mentali.

La seconda è che la "regola di switching" (o di reinterpretazione) — alla quale hanno contribuito Stueckelberg, Feynman e Sudarshan, oltre a Recami e Mignani, e che può essere implementata anche automaticamente col formalismo opportuno (cf. pagina 30 della citata rassegna del 1986) — *elimina del tutto*, una volta applicata, l'esistenza tanto di particelle ad energia negativa, quanto di moti all'indietro nel

tempo... Tale regola dire interpretazione, quando viene applicata nel caso delle usuali particelle subluminali (cosa che poteva essere fatta già nel 1908), porta alla corretta "previsione" dell'esistenza delle antiparticelle: oggetti "nuovi", sì, ma dotati di energia positiva nonché (regolarmente) in moto in avanti nel tempo. In tale contesto, la RS (estesa o, meglio, *non ristretta*) prevede che un tachione<sup>(4)</sup> che eventualmente *superi*<sup>(2)</sup> la velocità infinita, ci appaia successivamente come un antitachione muovendosi nella direzione opposta, cioè dotato di velocità negativa (ma ancora una volta dotato, ripetiamo, di moto in avanti nel tempo, e di energia positiva). Perfino tale previsione sembra essere stata verificata, sperimentalmente, numerose volte<sup>(5)</sup>. Un ultimo appunto, benché secondario: F. Selleri pare non distinguere il caso in cui un oggetto Superluminale emesso da A viene assorbito da B, dal caso in cui A — non venendo assorbito da B — prosegue in direzione di un lontano punto C. Cambiando osservatore in modo opportuno, può essere necessario l'intervento (automatico) del processo di *switching*: ma il risultato sarà ovviamente diverso nei due diversi casi (mentre l'Autore qui commentato sembra avere confuso le due differenti situazioni; già da noi discusse, comunque, in anni lontani, in *Let. Nuovo Cim.* 12 (1975) 263-265).

E. Recami  
Facoltà di Ingegneria,  
Università statale di Bergamo,  
Dalmine (BG), Italy  
INFN - Sezione di Milano, Milan, Italy

## Note

- (1) Tanto numerosi che non è possibile elencare neppure quelli degli ultimi mesi
- (2) Cfr., ad es., i nostri articoli in *Il Nuovo Saggiatore*, 17, No. 1-2 (2001) 21-29; *ibidem*, 2 No. 3 (1986) 20-29; e in *Annuario 73, Enciclopedia EST-Mondadori* (Milano, 1973), pp. 85-94.
- (3) Cfr., per es., P. Caldirola e E. R.: in *Italian Studies in the Philosophy of Science* (Reidel, Boston 1980) pp. 249-298.
- (4) Chiamiamo tachione qualsiasi oggetto, o gruppo d'onde, Superluminale
- (5) A cominciare dai classici lavori di S. Chu e W. Wong: *Phys. Rev. Lett.*, 48 (1982) 738; e di B. Segard e B. Macke, *Phys. Lett. A*, 109 (1985) 213.

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA  
1953-2003 JUBILEE OF THE INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS  
“ENRICO FERMI”

Under the auspices of the Presidency of the Italian Republic



Tuesday, July 15th

Chairman: Giuseppe-Franco Bassani, President of the Italian Physical Society

- 9:30 a.m. Welcoming speeches from the Mayor of the City, the President of the Province and the President of the Region
- 9:50 a.m. G.-F. Bassani: The Enrico Fermi School: tradition and perspectives
- 10:10 a.m. G. Salvini: The audacious beginnings and the wondrous perspectives of the Enrico Fermi School in physics and education
- 10:50 a.m. Coffee break
- 11:00 a.m. R.A. Ricci: Varenna: Highlights on the history of physics
- 11:40 a.m. N. Cabibbo: The Varenna Courses in the development of elementary particle physics
- 12:20 a.m. E.F. Redish: Presentation of the Course “Research on Physics Education”

Il 15 luglio è stato celebrato a Varenna il giubileo della Scuola Enrico Fermi, gli interventi saranno pubblicati prossimamente sulle pagine di questa rivista.

---

# IL NOSTRO MONDO

---

## INAUGURAZIONE DEL BUSTO BRONZEO DI EMILIO SEGRÉ

7 Giugno 2003

Aula Magna del Convitto Nazionale, Tivoli

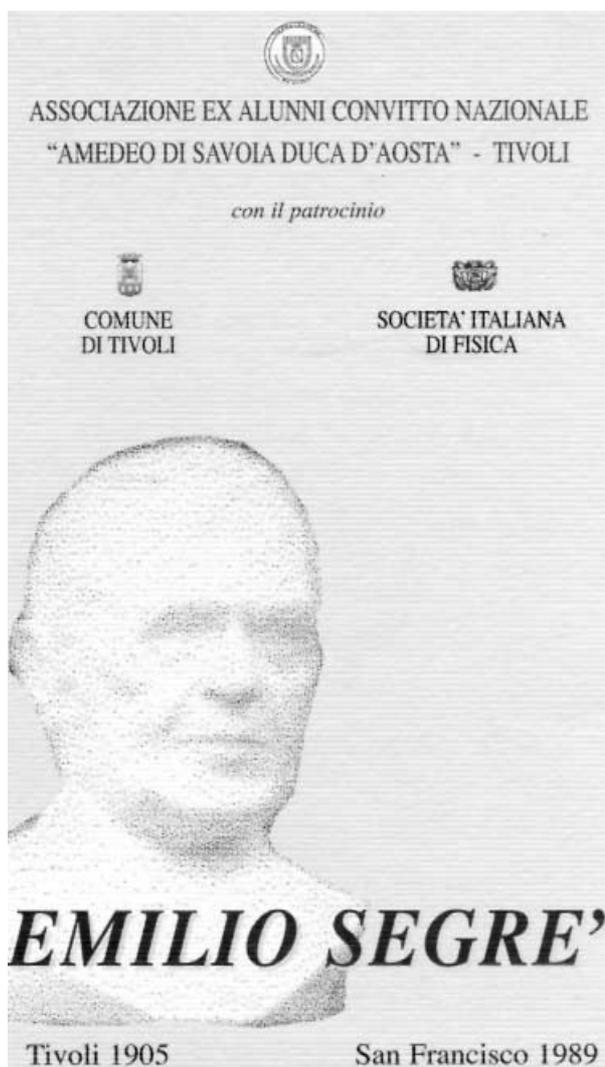
*Il 7 Giugno scorso si è tenuta a Tivoli una cerimonia per l'inaugurazione del busto bronzeo di Emilio Segré, che l'Associazione degli Ex alunni del Convitto Nazionale "Amedeo Di Savoia" ha voluto erigere, in omaggio all'illustre Concittadino ed ex Alunno, nella Piazza Garibaldi.*

*All'inaugurazione è seguito, nell'Aula Magna del Convitto Nazionale, un Convegno presieduto dall' On. Francesco Nitto Palma Presidente dell'Associazione, che ha presentato gli scopi della manifestazione.*

*Dopo il saluto agli intervenuti da parte del Prof. Gianfranco Pizzi, Rettore del Convitto, e del vice presidente dell'associazione Avv. Sandro Mattoni, il Prof. Antonino Zichichi, Presidente della WSA, e il Presidente della SIF Prof. Giuseppe Franco Bassani, oratori ufficiali del Convegno, hanno illustrato alcuni aspetti legati alla vita e all'opera di Emilio Segré.*

*La cerimonia, alla cui organizzazione ha validamente contribuito l'Ing. Gianni Andrei dell'ENEA, anch'egli ex Alunno del Convitto, si è conclusa con la consegna di una targa ricordo dell'evento ai due oratori ufficiali del Convegno.*

R. Habel



## Celebrato a Tivoli Emilio Segrè

Il carattere di chi ha avuto i natali nella tri-millennaria città di Tivoli conserva ancor oggi inalterate tutte le peculiarità che riconducono all'epiteto coniato da Orazio, e cioè quello di "Tibur superbum". Eppure io, tiburtino e ex-alunno del Convitto Nazionale "Amedeo di Savoia Duca d'Aosta", poi tra i fondatori dell'Associazione ex-Alumni, non avrei mai pensato di poter contribuire a celebrare uno dei più grandi figli di questa mia terra, il Premio Nobel per la Fisica Emilio Segrè, anch'egli ex-alunno del Convitto.

Era l'inizio di ottobre del 1955 quando percorsi per la prima volta gli ampi e solenni corridoi dell'austero e celeberrimo Convitto Nazionale di Tivoli. Perfettamente inquadrati e in fila per due, noi alunni ( poco più di una dozzina ) della prima "I<sup>a</sup> elementare" del dopoguerra varcammo intimoriti il portone laterale del grande edificio, quasi per metà ancora ridotto in macerie dai bombardamenti di dodici anni prima. Fu verso la fine delle elementari che un giorno la maestra ci condusse nell'ampio cortile centrale, in via di ricostruzione, a sfilare in "religioso" silenzio dinanzi ad un colossale busto bronzeo, appena recuperato quasi integro dalle macerie della grande facciata e momentaneamente appoggiato a terra: era quello di "Amedeo di Savoia Duca d'Aosta", il "personaggio titolare" dell'istituzione. Durante gli anni successivi, trascorsi ancora al Convitto nella scuola media e poi al liceo classico, e mentre il grande edificio man mano prendeva l'aspetto attuale, mi furono svelate altre gloriose memorie di eventi storici e di innumerevoli personaggi legati al Convitto. Tra gli altri, quelle del generale *Armando Diaz*, del quale è stata recentemente ritrovata una missiva olografa, datata 21 maggio 1915 (!). In essa scriveva all'allora Rettore del Regio Convitto: "... essendo molto prossima la mia partenza, desidero riabbracciare mio figlio Marcello". E ancora: "... La prego di accogliere il mio cordialissimo saluto ed un sincero ringraziamento per l'opera illuminata e paterna che Ella ed il suo personale che da Lei dipende prodigano in pro dell'istruzione e dell'educazione dei nostri figliuoli. Noi opereremo pieni di fede e di slancio; a loro il formare il cuore, la mente ed il carattere della generazione che sorge e nella quale tutti contiamo per l'avvenire e la grandezza del nostro Paese."

Quando così scriveva il gen. Diaz, Emilio Segrè aveva solo dieci anni e, seppur non credo che fosse a conoscenza di tali parole, comunque avrà cominciato a condividere con profonda emozione e passione i sentimenti e i valori richiamati, tanto poi da esserne fulgido testimone sia nello straordinario impegno negli studi scientifici che nelle travagliate vicende umane.

Adoperarmi per l'organizzazione tecnica e scientifica delle celebrazioni in onore di Emilio Segrè è stato per me un piacere ma soprattutto un dovere.

L'appuntamento è stato fissato per il pomeriggio di sabato 7 giugno 2003, nei giardini di Piazza Garibaldi a Tivoli, proprio davanti al Convitto Nazionale "Amedeo di Savoia Duca d'Aosta". La cerimonia è iniziata con lo scoprimento di un busto bronzeo, in onore del grande tiburtino, mirabile opera del maestro tiburtino *Elverio Veroli*. Padrini d'eccezione il prof. *Antonino Zichichi* e il prof. *Giuseppe Franco Bassani*, presidente della Società Italiana di Fisica, che ha patrocinato l'evento. Subito dopo, sono convenuti nell'Aula Magna del Convitto il dott. *Antonio D'Acunto*, Commissario Straordinario del Comune di Tivoli, patrocinante la manifestazione, il dott. *Andrea Napoleoni*, consigliere alla Provincia di Roma, insieme ad altre autorità, i rappresentanti del mondo scientifico, tra i quali il prof. *Rinaldo Baldini Celio*, direttore del Centro "E. Fermi", il prof. *Vincenzo Grasso* e il prof. *Roberto Haber*, molti docenti e cattedratici, professionisti, imprenditori, studenti e appassionati. Tra gli altri, erano presenti anche due "precedenti" Rettori del prestigioso Convitto di Tivoli, e cioè il prof. *Mario Leonardi*, che ha svolto con costante passione la sua attività sin dall'immediato dopoguerra e, con una breve interruzione, fino agli anni novanta, e il prof. *Nicola Sacchetti*, grande ispiratore della rinascita dell'Istituzione e fondatore dell'Associazione ex-Alumni del Convitto.

Il magistrato On. *Nitto Palma*, Presidente dell'Associazione ex-Alumni, ideatrice e promotrice dell'evento, ha rivolto un indirizzo di saluto ai convenuti ed ha passato la parola al prof. *Antonino Zichichi*, che ha svolto una coinvolgente affascinante relazione su "I quattro ragazzi di Via Panisperna". Una breve pausa ha consentito al pubblico di stringersi intorno al prof. Zichichi, che ha avuto modo di intrattenersi piacevolmente con autorità, studiosi



Momento dell'Inaugurazione del busto bronzeo di E. Segrè.

7

e studenti, prima di lasciare anzitempo l'Aula Magna per impegni scientifici. Alla ripresa, sono intervenuti il prof. *Gianfranco Pizzi*, attuale Rettore del Convitto, e l'avv. *Sandro Mattoni*, vice presidente dell'Associazione degli ex-Alunni. È stata poi la volta del prof. *Giuseppe Franco Bassani*, la cui relazione sulla vita e sulle opere di Emilio Segrè ha appassionato ed emozionato tutti gli astanti, provocando momenti di intensa commozione.

La memorabile manifestazione si è conclusa con un raffinato cocktail. È seguita, infine, un'esclusiva conviviale in onore dei chiar.mi professori e delle personalità intervenute, nelle sale dello storico Ristorante "Sibilla".

Ing. Gianni Andrei  
*Associazione ex-Alunni  
 Convitto Nazionale  
 "Amedeo di Savoia Duca D'Aosta"*

**I QUATTRO RAGAZZI DI VIA PANISPERNA(\*)****A. Zichichi***Presidente World Federation of Scientists, Ginevra  
Presidente Centro E. Fermi, Roma*

È con grande piacere che ho accettato di svolgere questa relazione in occasione della cerimonia di inaugurazione, a Tivoli, del busto bronzeo di Emilio Segrè. Emilio Segrè, mio sostenitore in tante battaglie scientifiche e culturali, *“faceva parte, con Fermi, Majorana e Pontecorvo, del gruppo di giovani scienziati storicamente noto come: i quattro di Via Panisperna”*, come mi ha scritto nella sua gentile lettera d’invito l’Onorevole Nitto Palma, Presidente dell’Associazione Ex Alunni del Convitto Nazionale “A. di Savoia” di Tivoli, dove Segrè compì i suoi studi liceali.

L’opera dei ragazzi di Via Panisperna è di grande attualità per diversi motivi di carattere non soltanto scientifico ma anche culturale. Questi “quattro ragazzi”, sotto la guida di Enrico Fermi, si impegnarono infatti nel sostenere l’importanza della cultura scientifica. Essi vissero in prima persona l’ingresso della Scienza nella cultura del nostro tempo, cultura detta moderna ma che in realtà non è affatto moderna, bensì ancora pre-aristotelica. Delle tre grandi conquiste dell’intelletto umano, Linguaggio, Logica e Scienza, né la Logica, né la Scienza fanno parte della cultura detta moderna. Enrico Fermi e i ragazzi di Via Panisperna, quindi Segrè, Majorana e Pontecorvo, si trovarono strettamente coinvolti nel problema della cultura scientifica moderna.

Un fenomeno molto raro chiamato radioattività, scoperto per puro caso in Francia, era stato trasformato in un fenomeno che poteva avvenire quasi dappertutto: bastava usare quelle particelle, dette neutroni, che erano state da poco scoperte. Fermi intuì che vi era in gioco una nuova forza fondamentale della natura. È tutt’altro che semplice scoprire una forza fondamentale. Basti pensare che, dall’alba della civiltà ai tempi di Galilei, l’unica forza evidente era quella dovuta alla gravità. Duecento anni dopo la forza di Galilei e Newton, venne fuori l’elettromagnetismo, con la forza elettromagnetica. Grazie a Enrico Fermi e ai suoi ragazzi, nacque infine una nuova forza fondamentale che

Fermi chiamò *“debole”*, in quanto si manifesta in modo estremamente debole nella natura che ci circonda. Non si tratta di una forza banale, poiché risolve tanti problemi, rendendo conto in particolare del motivo per cui il Sole non si spegne o non esplosa. Della valvola di sicurezza che garantisce nel corso di miliardi di anni la combustione del Sole e di tutte le Stelle sono responsabili le forze deboli, oggi dette forze di Fermi.

Gli studi e le ricerche dei ragazzi di Via Panisperna attirarono l’attenzione del mondo di quei tempi, togliendo spazio alla cultura da me definita pre-aristotelica e tuttora dominante. Venne così coniata la famosa battuta *“scienziati vili meccanici”* che lasciava chiaramente intendere come le verità fondamentali non potessero essere proprietà della Scienza. I ragazzi di Via Panisperna non ebbero modo di reagire sufficientemente a quell’attacco, scaturito come conseguenza del vivace esordio della Scienza moderna nella cultura cosiddetta moderna. Quei ragazzi, di cui Segrè era una colonna portante, cominciarono a battersi in difesa della Scienza fintanto che non entrarono in vigore le leggi razziali. Segrè fu costretto ad abbandonare l’Italia. Emilio Segrè fa parte in effetti della lista dei fisici che Enrico Fermi raccomandò alle Università americane. Le quattro lettere che Fermi spedì in quei tempi drammatici alle Università americane sono state, per volontà della Signora Fermi, donate al Centro di Cultura Scientifica “Ettore Majorana”. Non è un caso che il Centro di Erice sia dedicato a Ettore Majorana, uno dei quattro ragazzi di Via Panisperna, e non è un caso che si chiami Centro di Cultura Scientifica. La cultura del nostro tempo è responsabile delle crisi in cui viviamo: il terrorismo, per esempio, è una crisi di natura culturale, non militare o tecnologica. La cultura cosiddetta moderna non è al passo con le grandi scoperte scientifiche e tutto avviene come se la Scienza non fosse stata mai scoperta. Purtroppo Enrico Fermi morì troppo giovane per dar vita alla cultura scientifica che i ragazzi di Via Panisperna avevano così brillantemente iniziato a rappresentare e si pentì amaramente di non aver risposto con adeguata energia all’attacco sferzato contro la Scienza.

L’attacco non finì lì. Come Enrico Fermi aveva detto ai suoi ragazzi, se lo scontro culturale fosse rimasto ad altissimo livello, la cosa non sarebbe stata poi così grave. Ma che cosa è successo? Che lo scontro tra la cultura domi-

(\*) Trascritto dalla registrazione magnetica

nante e la cultura scientifica è caduto di livello, a tal punto che persone che non hanno mai scoperto né inventato nulla si sono messe a fare divulgazione detta scientifica. Oggi noi viviamo questa realtà in cui viene scambiata per cultura scientifica la divulgazione detta scientifica, che scientifica però non è. Per esempio, com'è possibile che nessuno abbia detto che Scienza e Tecnica sono due attività radicalmente diverse? Si deve a Giovanni Paolo II un grande aiuto proprio su questo punto, a difesa della Scienza contro gli attacchi scatenati dalla cultura dominante. Se fosse vero che Scienza e Tecnica sono la stessa cosa, sarebbe meglio smetterla subito con la ricerca scientifica. I ragazzi di Via Panisperna sapevano benissimo che il motore del progresso civile, sociale e tecnologico è la scoperta scientifica. Se la Scienza cessasse di scoprire noi ci fermeremmo dove siamo adesso. Come si spiega quindi questo profondo abisso che c'è tra la cultura dominante del nostro tempo e la cultura scientifica? Con ciò che Enrico Fermi chiamò "*Hiroshima culturale*". Prima di lasciare questo mondo, Enrico Fermi ci ammonì: "*State attenti che all'Hiroshima politica non segue l'Hiroshima culturale*". Eppure siamo in piena Hiroshima culturale perchè Scienza e Tecnica non vengono distinte. Si deve a Giovanni Paolo II l'aver dichiarato: "*L'uso della Scienza non è più Scienza. L'uomo può perire per la Tecnica che egli stesso inventa, non per le sue scoperte scientifiche*".

Scienza vuol dire scoprire la logica del Creato, le leggi fondamentali della natura. Scienza e Tecnica non debbono assolutamente essere confuse e se tutto è Scienza, nulla è Scienza. Bisogna quindi distinguere nettamente le tre grandi conquiste della ragione da me già citate: Linguaggio, Logica e Scienza. Il Linguaggio è quella scoperta che ha portato alla memoria collettiva permanente. Noi siamo l'unica forma di materia vivente dotata di ragione, da cui nasce il Linguaggio e dunque la scrittura: che è memoria collettiva permanente. Come amo ripetere nei miei discorsi rivolti a un vasto pubblico, le aquile non sanno scrivere, i leoni nemmeno, le scimmie neppure. E, passando alla Logica rigorosa, non mi risulta che i gatti sappiano cosa sia il teorema di Pitagora, né che le volpi si pongano il problema del Supermondo. Passando infine alla Scienza, una delle frontiere delle nostre attuali conoscenze scientifiche è proprio il Supermondo, quella realtà matematicamente elaborata, rigorosamente esistente dal

punto di vista teorico, cui manca la prova sperimentale. E Scienza vuol dire proprio questo: rigore matematico nella formulazione del problema e prova sperimentale riproducibile per poter affermare che il fenomeno avviene effettivamente così.

Se la cultura scientifica fosse parte integrante della cultura del nostro tempo, noi non vivremmo la crisi culturale nella quale siamo immersi. Emilio Segrè fu un grande protagonista della Scienza e della cultura scientifica. Pubblicò molti libri che costituiscono opere di grande cultura scientifica, non certo di divulgazione detta scientifica. Egli fu un forte sostenitore del Centro di Erice che, come ho già detto, si chiama Centro di Cultura Scientifica ed è intitolato a Ettore Majorana per portare alta in Italia la bandiera di Enrico Fermi, in memoria di colui che egli stesso considerava un genio. Dopo la scomparsa di Majorana, Enrico Fermi diceva: "*Essere scienziati vuol dire scoprire o inventare. Chi non ha mai scoperto né inventato nulla non può dirsi scienziato, né può parlare in nome della Scienza*". Invece oggi in nome della Scienza parlano massimamente persone che, a prescindere dalla loro ideologia, non hanno mai scoperto né inventato nulla. Ecco l'origine della crisi culturale che confonde la Tecnica con la Scienza, la divulgazione scientifica con la cultura scientifica. La divulgazione scientifica ha creato disastri per mezzo di mistificazioni ideologico-culturali di cui è vittima la nostra società, ossia tutta la società avanzata del mondo industrializzato alla quale abbiamo il privilegio di appartenere. Tali mistificazioni hanno portato, per esempio, a ritenere Enrico Fermi ed Emilio Segrè i padri della bomba atomica che distrusse Hiroshima. Il vero padre della bomba di Hiroshima fu Adolf Hitler. Fu lui, con folle violenza politica e ideologica, a partire col progetto nazista per la bomba a fissione nucleare. Gli scienziati del Progetto Manhattan iniziarono la loro impresa con tre anni di ritardo, terrorizzati dall'idea di non riuscire a evitare per tempo che il mondo cadesse in mano a Hitler. Come se non bastasse, la divulgazione detta scientifica ha fatto credere a tutti che il padre della bomba H sia Edward Teller. Il vero padre della bomba H fu invece Iosif Stalin, come è adesso noto a tutti dopo il crollo del muro di Berlino. Mentre l'America si dibatteva sui dubbi di Oppenheimer, Stalin era già partito col progetto per la bomba a fusione nucleare. A Erice sono state portate, da chi le ha personalmente

vissute, le testimonianze di questa incredibile realtà culturale che la divulgazione detta scientifica ha completamente stravolto. È la cultura scientifica lo strumento che può permettere al nostro mondo di superare ed evitare i drammi della crisi culturale. Pur tuttavia la società nella quale viviamo possiede una cultura che, come dicevo prima, non è al passo con le grandi scoperte della Scienza.

Emilio Segrè rappresenta un'eccezione, non la regola, nel mondo scientifico. Per motivi che non sto qui a discutere, avviene che i nostri colleghi, quando scrivono o quando parlano, si rivolgono sostanzialmente a se stessi, non al pubblico. Le torri d'avorio sono state create da coloro che vogliono tenere la Scienza lontana dalla società civile. Contrastare questa volontà è una battaglia molto dura, nella quale Emilio Segrè ha saputo distinguersi. Io non vi parlerò delle scoperte di Segrè perché sarà Franco Bassani a illustrarvele. Vorrei limitarmi a quelle conquiste di Emilio Segrè che riguardano direttamente la cultura del nostro tempo. Egli fu infatti, lo ripeto, uno straordinario esempio di scienziato e contemporaneamente di autore di libri di estremo interesse, che hanno fatto testo nella cultura scientifica moderna. Vorrei comunque raccontare un episodio sulla scoperta dell'antiprotone che mi è stato riferito da Goldhaber, direttore del più grande laboratorio americano di quei tempi. Goldhaber non credeva nell'esistenza dell'antiprotone. Come mai? L'idea delle antiparticelle nasce, com'è noto, nel formidabile cervello di Dirac. Dirac, giovane fisico inglese, all'inizio della prima guerra mondiale viene chiamato alle armi e riformato per errore. Molto dispiaciuto di non essere stato considerato idoneo, rimane praticamente solo a Cambridge, con un chiodo fisso: capire le implicazioni nel campo delle particelle fondamentali di una grande scoperta di Lorentz. Lorentz aveva scoperto una cosa ancora adesso estremamente affascinante: se lo spazio è reale il tempo deve essere immaginario e viceversa. Eppure nella vita di tutti i giorni noi consideriamo lo spazio e il tempo reali. La grande scoperta di Lorentz era il risultato di duecento anni di esperimenti in elettricità, magnetismo e ottica. Esperimenti che portarono Maxwell a formulare in appena quattro equazioni l'enorme varietà dei fenomeni elettromagnetici. Adesso noi siamo in grado di scriverne una sola e questa grande conquista di sintesi matematica di tutti i fenomeni elettromagnetici esige una cosa in-

credibile: che lo spazio-tempo, nel quale lo spazio si misura con il metro e il tempo con l'orologio, non possa essere reale, bensì complesso. Il giovane Dirac si chiese dunque cosa sarebbe successo all'elettrone se descritto nello spazio-tempo complesso. Nessuno prima di lui si era mai posto questo problema. Così facendo scoprì che, se c'è l'elettrone, ci deve essere anche l'antielettrone. Questa è una delle più grandi conquiste della Scienza di tutti i tempi, alla quale tuttavia nessuno credeva.

A Cambridge, Dirac subiva lo scetticismo generale dei colleghi nei riguardi della sua scoperta teorica finché, per sua fortuna, pochi anni dopo non venne sperimentalmente scoperto l'antielettrone. E allora successe il finimondo. Se c'è l'antielettrone, sosteneva Dirac, ci deve essere anche l'antiprotone e a ogni particella deve corrispondere un'antiparticella. Però attenzione, la scoperta e l'affermazione di Dirac si basavano unicamente sulle forze elettromagnetiche. Dirac aveva infatti avuto l'idea dell'esistenza dell'antielettrone studiando che cosa fa l'elettrone quando interagisce elettromagneticamente. Ciò lo aveva portato a concludere che se c'è un elettrone di carica elettrica negativa ci deve essere quello di carica positiva, se c'è una particella ci deve essere l'antiparticella dotata di carica opposta. Quando Segrè fece la sua proposta d'esperimento per scoprire l'antiparticella del protone, egli era convinto che oltre al protone ci dovesse per forza essere anche l'antiprotone. Però il protone, diceva giustamente Goldhaber, ha interazioni forti ed è una particella ben diversa dall'elettrone. Dunque nel caso dell'antiprotone, non era soltanto questione di carica elettrica. Ecco la ragione per cui molti fisici pensavano che l'antiprotone non dovesse esistere. Non è affatto vero quello che spesso si dice, ossia che fosse ovvio che l'antiprotone dovesse esistere. A tal punto che Goldhaber fece una grossa scommessa (grossa per le tasche di un fisico) sulla non esistenza dell'antiprotone, firmando un assegno. Chi vinse la scommessa non incassò mai quell'assegno, lo conservò in un quadro nel suo studio, regalandolo successivamente al direttore del laboratorio dove fu effettivamente scoperto l'antiprotone.

Oltre a Emilio Segrè, faceva parte della squadra di ragazzi di Via Panisperna anche Ettore Majorana. Majorana era persona di pochissime parole e finì nel gruppo di Fermi in quanto il padre di Majorana era amico di Corbino, uno dei due illustri fisici che Fermi chiamava "*santi protettori*". I santi protettori di Enrico Fermi

erano Corbino e Marconi. Il gruppo di Via Panisperna poté fare quello che fece grazie a questi due santi protettori. Infatti, quando nel giro di pochi mesi Corbino e Marconi morirono, Enrico Fermi, che doveva essere il successore di Marconi alla presidenza del Consiglio Nazionale delle Ricerche, non venne nemmeno fatto direttore dell'Istituto di Fisica. Confidò alla moglie Laura: *“Ce ne dobbiamo andare dall'Italia, non mi faranno più far nulla”*. Dopo pochi mesi entrarono in vigore le sciagurate leggi razziali. Si racconta che Fermi lasciò l'Italia per via di quelle leggi, ma non è così. Fermi aveva già deciso di andare via perché la ruggine accademica italiana tipica di quei tempi non gli consentiva di fare esperimenti con cose così strane come i neutroni. E ciò, malgrado il fatto che il gruppo di Via Panisperna stesse realizzando studi e ricerche incredibili. Majorana entra a far parte del gruppo di Fermi raccomandato da Corbino, che dice a Fermi: *“Sa, c'è un ragazzo giovane molto brillante, lo metta alla prova.”* Majorana arriva nel gruppo di Fermi un giorno in cui, come avviene in tutti i gruppi di ricerca, il capogruppo illustrava alla lavagna un problema, l'ultimo problema non risolto e sul quale tutti lavoravano da una settimana senza aver concluso alcunché. Majorana ovviamente non aveva mai incontrato nessuno del gruppo prima di allora. L'indomani, Majorana si avvicina tutto tremante a Fermi, dicendo: *“Professore, sa, forse ho avuto un'idea.”* Si trattava della soluzione del problema. Ecco come iniziò una collaborazione che fece dire a Fermi, quando Majorana sparì: *“Vi sono tre tipi di scienziati, quelli che cercano di far qualcosa ma non combinano nulla, quelli che cercano di far qualcosa ma combinano poco, poi vi sono quelli che riescono a scoprire e a inventare. Infine vi sono i geni, tipo Galilei e Newton. Majorana era uno di questi.”* Questa dichiarazione, che a Erice è incisa su una lastra di bronzo, mi è stata resa nota dalla Signora Fermi, ovviamente con il permesso di riprodurla. Enrico Fermi considerava Majorana una persona geniale innanzi tutto per via della questione del neutrone, ufficialmente scoperto da Chadwick. In realtà, la prima persona al mondo che scoprì il neutrone fu Majorana. Il problema era su per giù questo: una scoperta fatta dai coniugi Joliot-Curie era stata interpretata come dovuta a fotoni, cioè a luce di altissima energia. Majorana convinse Fermi che la spiegazione era sbagliata; che doveva esserci in gioco una particella pesante e che si era dinanzi

a un esempio di protone neutro. Nasce così il termine neutrone. E Fermi gli disse: *“Formidabile, scrivi il lavoro!”* Majorana apparteneva a quella razza di persone, debbo dire tipiche della cultura siciliana, le quali, quando capiscono una cosa, invece di rallegrarsene, si reputano stupide per non aver saputo capirla tre ore prima o tre giorni prima o tre mesi prima. Majorana non scrisse e non pubblicò il lavoro. Emilio Segrè mi raccontò l'episodio, descrivendomi lo sbalordimento e l'incredulità del gruppo di Via Panisperna quando si venne a sapere che Chadwick aveva effettivamente scoperto il neutrone. Al gruppo non restava altro che continuare a portare avanti i propri esperimenti. Come se non bastasse, un bel giorno Majorana va da Fermi a fargli un discorso sui neutrini che oggi si chiamano i “neutrini di Majorana”. In sintesi la questione era questa: i neutrini di Dirac avevano quattro componenti ma secondo Majorana ne bastavano due. Nasce così l'idea del neutrino di Majorana. Fermi, conoscendo Majorana e sospettando quindi che non avrebbe nuovamente messo nulla per iscritto, scrisse personalmente il lavoro firmandolo Majorana e lo mandò per la pubblicazione. Se oggi noi sappiamo dei neutrini di Majorana, ancora di grande attualità, lo dobbiamo a Enrico Fermi e al fatto che aveva nel suo gruppo dei ragazzi geniali come Majorana, come Segrè o come Pontecorvo.

Bruno Pontecorvo è il fisico che formulò l'ipotesi dell'oscillazione dei neutrini. Io sono grato a Pontecorvo per quanto riguarda il mio progetto per i Laboratori del Gran Sasso. La cosiddetta Scuola di Roma si scagliò contro il mio progetto all'epoca in cui lo presentai. Non che ciò mi abbia impedito di portarlo comunque avanti, però a un certo punto arrivò Pontecorvo in Italia. Erano anni che vivevamo in piena guerra fredda ed esisteva ancora il muro di Berlino, sicché alcuni di noi ricorderanno che l'arrivo di Pontecorvo in Italia fu un vero avvenimento. A Roma fu organizzata una conferenza scientifica di tre giorni nella quale fui invitato a presentare il progetto del Gran Sasso, cosa che puntualmente feci. Senza preavviso, dopo la presentazione, mi fu chiesto di partecipare a una conferenza stampa, molto insolita per un ambiente di soli scienziati. Siccome io ero considerato un “anticomunista viscerale” e Bruno Pontecorvo un “comunista ufficiale”, nella mente degli organizzatori il divertimento era garantito. Non potendo andarmene, vidi il solito giornalista d'occasione alzare la mano e chiedere: *“Professor Pontecorvo, cosa*

*ne pensa del progetto napoleonico del Professor Zichichi sul Gran Sasso?*” Già il termine “napoleonico” diceva tutto. Pontecorvo passeggiando, col suo modo tipico di muoversi molto lentamente, rispose pacatamente: *“Mi dispiace di avere una certa età e di non essere più tanto giovane, mi dispiace molto di non essere abbastanza giovane per potere partecipare a questo formidabile progetto.”* Da quell’istante in poi la cosiddetta Scuola di Roma smise di attaccare il progetto Gran Sasso. Ecco perché io sono grato a Bruno Pontecorvo ed ecco perché un’aula dei Laboratori del Gran Sasso è a lui intitolata. Anche Emilio Segrè in quell’occasione fu al mio fianco come grande difensore del progetto e sostenitore delle proposte che scientificamente hanno rappresentato per l’Italia una notevole opportunità. Poiché si parla tanto di fuga di cervelli, è bene sapere che il progetto Gran Sasso ha invertito questa tendenza, è l’unica iniziativa scientifica realizzata in Italia in cui la comunità internazionale ha investito non solo fondi, ma cervelli, tecnologie e un enorme impegno intellettuale.

Questo significano per me i ragazzi di via Panisperna: quelli che ho personalmente conosciuto, e cioè Pontecorvo e Segrè, sono stati sempre dal mio lato; quelli che non ho conosciuto, lo sarebbero sicuramente stati, come mi

ha sempre detto la Signora Fermi a proposito di suo marito.

Per concludere, vorrei tornare al tema iniziale. Noi viviamo in un mondo nel quale sarebbe bene che la cultura scientifica diventasse una componente della cultura moderna. Per esempio, le cinquantatre emergenze planetarie che sono state individuate e portate alla ribalta dalla World Federation of Scientists, vengono comunemente attribuite al progresso scientifico. Se fosse vero, bisognerebbe chiudere con la Scienza. Le cinquantatre emergenze planetarie sono in realtà il risultato di una dissennata violenza politica. Infatti, quali sono le aree del mondo più devastate? Sono quelle dell’ex Unione Sovietica dove è stata attuata un’innumerabile serie di devastazioni ecologico-ambientali. Cultura scientifica vuol dire correggere o finalmente cancellare le mistificazioni culturali che hanno stravolto la verità. Per fare cultura scientifica non bastano gli scienziati; c’è bisogno dell’azione politica di quelle persone sensibili che, dedicandosi allo sviluppo scientifico, tecnologico e sociale, possano dare a noi scienziati la possibilità di incidere sulla cultura del nostro tempo. In questa battaglia Emilio Segrè ha dato prova di un notevole coraggio e di un prezioso impegno grazie ai suoi numerosi scritti di vera grande cultura scientifica.

12



Momento della celebrazione in onore di E. Segrè, Tivoli 2003.

## EMILIO SEGRÈ: LA SUA VITA E LE SUE OPERE

G.F. Bassani

*Presidente Società Italiana di Fisica*

Si riassumono le scoperte principali di Emilio Segrè: la radioattività artificiale prodotta dai neutroni lenti, con E. Fermi, E. Amaldi, F. Rasetti e B. Pontecorvo, la rivelazione del tecnezio ( $^{43}\text{Tc}$ ) e del plutonio ( $^{94}\text{Pu}$ ), la produzione e rivelazione dell'antiprotone  $p^-$ .

Si narrano alcuni aspetti della sua vita, evidenziandone le caratteristiche di intensa umanità.

\* \* \*

Emilio Segrè appartiene alla categoria dei grandi scienziati di ogni tempo, le cui scoperte hanno segnato il cammino della fisica. Con Fermi, Amaldi e pochi altri, è tra gli esponenti di un periodo irripetibile per la ricerca fisica, quando a Roma si apriva un nuovo cammino nella scienza, che avrebbe influito sui destini del mondo.

Durante gli anni settanta lo conobbi come collega all'Università di Roma. Andavo alle sue lezioni per imparare da lui aspetti notevoli sui personaggi della fisica moderna, molti dei quali aveva conosciuto personalmente. Ebbi modo di apprezzare il suo talento di espositore e l'acutezza delle sue osservazioni.

Emilio Segrè è a pieno titolo uno di tali personaggi e vorrei parlare di lui con il ricordo vivo di chi non può dimenticare il suo modo di interagire con le persone e il suo carattere, a volte apparentemente brusco, ma sempre schietto e sincero.

La sua vita ha testimoniato e sofferto gli avvenimenti più drammatici del secolo appena trascorso, con le due guerre mondiali e le vicende nelle quali venne coinvolto. È descritta nell'«autobiografia di un fisico», che apparve dopo la sua morte nel 1995 per i tipi de Il Mulino, e nella versione inglese con il titolo con cui lo aveva caratterizzato E.O. Lawrence, «*A mind always in motion*», per i tipi della University of Chicago Press nel 1993. È chiaro che il testo italiano non è una traduzione della versione inglese, anzi è in gran parte il testo originale sul quale la versione inglese è stata elaborata, come testimonia la moglie.

Ma prima di narrare di una vita tanto interessante e per vari aspetti drammatica vorrei menzionare le tre principali scoperte alle quali il

nome di Emilio Segrè rimarrà per sempre legato. A pochi è concesso di lasciare tracce tanto importanti nella scienza da poterne parlare indipendentemente da ogni riferimento al complesso delle loro ricerche.

Prima di tutto va ricordato il suo contributo alla scoperta, nel 1934, della radioattività artificiale prodotta dai neutroni lenti, per la quale venne assegnato a Enrico Fermi il Premio Nobel nel 1938. È ormai comunemente noto che il nucleo atomico è composto di protoni, con carica elementare positiva, il cui numero caratterizza l'atomo, e di neutroni, di massa circa uguale ma privi di carica elettrica, il cui numero, aggiunto a quello dei protoni, ne caratterizza il peso. La radioattività si ottiene quando i nuclei emettono radiazione elettromagnetica, o frammenti nucleari, o elettroni. Come risultato il nucleo che emette particelle si trasforma in un nucleo di un diverso elemento, con numero atomico maggiore se le particelle emesse sono elettroni. L'idea di Fermi fu di disturbare il nucleo atomico con neutroni, che essendo privi di carica elettrica non vengono respinti dai nuclei. L'idea fu vincente e consentì di verificare che la maggior parte dei nuclei diventa radioattiva. Si verificò subito che rallentando i neutroni con schermi di paraffina o grafite la radioattività indotta aumentava enormemente e se ne capì la ragione.

Nel caso dell'uranio, di numero atomico 92, l'effetto è particolarmente intenso, e nel 1939 Hann e Strassmann trovarono che il nucleo di uranio si spezzava in due elementi più leggeri, cioè si produceva la fissione. Subito si scoprì che era l'isotopo  $^{235}_{92}\text{U}$  che subiva la fissione con grande produzione di energia e liberazione di due neutroni. Di qui la possibilità di reazione a catena per la produzione di energia, e quindi di una bomba atomica, con gli avvenimenti che tutti ben conosciamo.

Una seconda scoperta fondamentale di Emilio Segrè è l'individuazione di nuovi elementi e delle loro proprietà. Il primo elemento da lui scoperto è quello di numero atomico 43, che non era mai stato individuato prima, e che venne scoperto nel 1937 a Palermo analizzando targhette di rame esposte al Ciclotrone di Berkeley e a lui spedite da ricercatori americani che non immaginavano cosa in esse si fosse sviluppato. L'elemento  $^{97,98}_{43}\text{Tc}$ , venne da lui chiamato tecnezio perché era il primo elemento artificialmente prodotto. Nel 1940 trovò un altro elemento, l'astato. Un altro elemento artificiale che si ottiene dalla radioattività dell'uranio e

che Segrè riuscì a produrre nel 1941 in collaborazione con Seaborg è il plutonio,  $^{239}_{94}\text{Pu}$ . Segrè riuscì a dimostrare che esso subisce la fissione con produzione di tre neutroni ed efficienza superiore a quella dell'uranio-235. Di qui la possibilità di usare il plutonio nella bomba atomica e il ruolo determinante di Segrè nel progetto Manhattan a Los Alamos. La prima bomba atomica esplosa nel deserto di Alamogordo, era al plutonio, e così la bomba sganciata su Nagasaki.

La terza scoperta fondamentale di Segrè è la creazione e l'evidenziazione dell'antiprotone con il Bevatrone di Berkeley nel 1955, che gli valse il Premio Nobel nel 1959. L'esistenza di antiparticelle (di massa uguale e carica opposta a quella delle particelle note) era stata prevista da P.A.M. Dirac nel suo lavoro del 1928 sull'elettrone relativistico, nel quale si otteneva una soluzione che implicava una particella con la stessa massa dell'elettrone, ma carica e momento magnetico opposti. Tale particella, detta positrone, venne rivelata da C.D. Andersen nel 1932. Il problema dell'esistenza di altre antiparticelle era aperto, e il primo candidato era il protone. Quando una nuova macchina a Berkeley, il Bevatrone, raggiunse l'energia di 6 GeV (nel laboratorio), nel 1955, divenne possibile generare coppie di protoni e antiprotoni e risolvere il problema della validità generale del concetto di antiparticella. Emilio Segrè, con il suo allievo Chamberlain e altri, nell'autunno del 1955 produsse antiprotoni  $p^-$  di carica negativa, bombardando una targhetta di rame con protoni da 6 GeV. Gli antiprotoni vennero rivelati col campo magnetico e la loro velocità fu misurata con l'effetto Čerenkov, ma successivamente furono evidenziati dal loro decadimento in emulsioni fotografiche e camere a bolle, in collaborazione con il gruppo italiano diretto da Edoardo Amaldi. È doveroso osservare che in questo campo fondamentale il ruolo dei fisici italiani, a partire dagli anni trenta, è stato determinante.

Dopo la prima osservazione dell'antiprotone, come già detto, il gruppo diretto da E. Amaldi ha contribuito a rivelarne il decadimento nelle emulsioni fotografiche.

Sempre nel 1956, Oreste Piccioni scopre l'antineutrone (di momento magnetico opposto a quello del neutrone). Nel 1959 M. Baldo-Ceolin scopre l'antiparticella  $\Lambda$ .

Il problema dell'esistenza di antimateria composta, cioè di nuclei costituiti da più anti-

particelle, è stato chiarito nel 1966 da Antonino Zichichi, che per primo produce e rivela anti-deutoni. E la storia continua con l'evidenza di antiatomi.

Ma ritorniamo ad Emilio Segrè come personaggio, e al suo destino umano, segnato dalle leggi razziali e dai drammi del tempo in cui visse.

Nasce a Tivoli il 30 gennaio 1905, ultimo di tre figli, in una ricca famiglia ebraica di origine romagnola, e poi mantovana. Il padre Giuseppe Abramo, a cui sarà sempre teneramente legato, aveva utilizzato le cascate d'acqua di cui Tivoli abbondava per creare un'industria cartaria, la Società Cartiere Tiburtine, che dava lavoro a molti e una ragionevole agiatezza alla famiglia. Il padre era anche amministratore di Villa d'Este per il proprietario Arciduca Ferdinando d'Asburgo, e dei giochi nel parco della Villa Emilio serbò per sempre il ricordo. A Tivoli egli rimase sempre legato, con un affetto struggente che traspare dalle parole che vorrei citare:

«La Tivoli della mia infanzia contava 16 000 abitanti e non era molto cambiata dal medioevo. Il quartiere dove stava la nostra casa, in viale Carciano (ospitava anche la casa dei cari amici Conversi), conteneva un parco con ampio spazio per i giochi dei bambini e un campo da tennis accessibile a tutti. Si aveva una bella vista sulla campagna romana, la cupola di San Pietro all'orizzonte, e una visione della Villa dell'Imperatore Adriano. Era una vista imponente, che variava secondo l'ora e la stagione, ma aveva caratteri di tragica grandiosità. Le foglie degli olmi del viale cambiavano colore secondo la stagione e in autunno formavano un tappeto dorato; il vento le ammucchiava e la pioggia lasciava pozzanghere che era facile evitare ma che da bambino cercavo per metterci i piedi.

Sento ancora nel ricordo l'odore delle foglie secche e della pioggia fresca.

Sotto la nostra casa c'era un piccolo tabernacolo con una madonnina, a cui ricordo che nel 1915 gruppi di donne chiedevano la grazia della pace».

Anche dopo il trasferimento a Roma nel 1917 i Segrè conservarono la casa di Tivoli dove passavano i mesi estivi.

Dopo il periodo giovanile e il primo anno del ginnasio quale alunno del Convitto Nazionale che ci ospita, frequenta a Roma il Liceo Mamiani e poi l'Università, dove si iscrive a Ingegneria, ma dopo avere ascoltato una conferenza di Fermi, e avere stretto amicizia con Franco Rasetti, che di Fermi era intimo amico, decide di

## On the Observation of an Antiproton Star in Emulsion Exposed at the Bevatron.

O. CHAMBERLAIN, W. W. CHUPP, G. GOLDBERGER, E. SEGRÈ and C. WIEGAND

*Radiation Laboratory, Department of Physics, University of California,  
Berkeley, California*

E. AMALDI, G. BARONI, C. CASTAGNOLI, C. FRANZINETTI and A. MANFREDINI

*Istituto di Fisica dell'Università - Roma  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Roma*

(ricevuto il 5 Gennaio 1956)

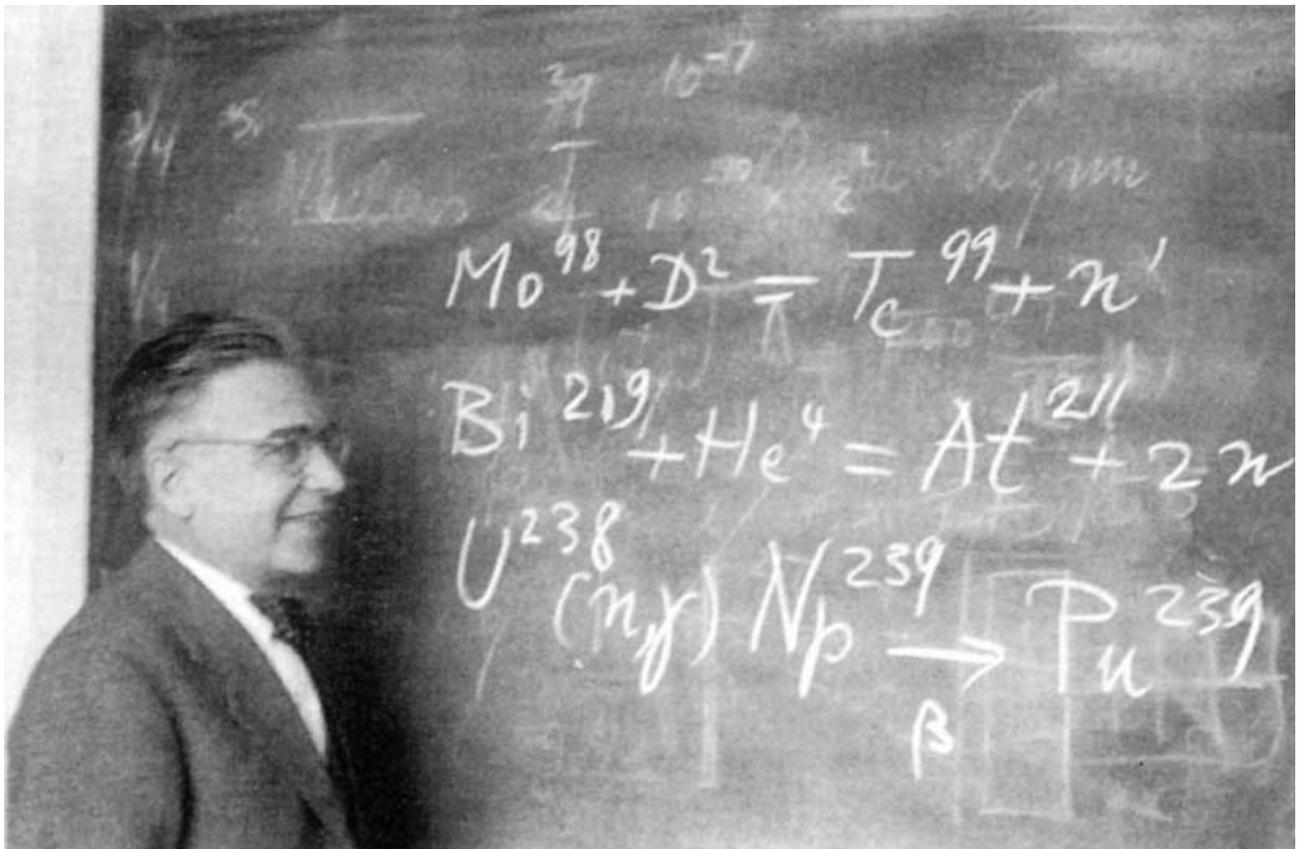
**Summary.** — In connection with the antiproton investigation at the Bevatron several stacks of nuclear emulsions have been exposed in a magnetically selected beam of negative particles. The selected particles were produced in a copper target, bombarded with protons of 6.3 GeV, and had a momentum of 1.09 GeV/c. The experiments were designed to observe the annihilation process undergone by an antiproton brought to rest inside the emulsion. The details of the investigation are given in Section 2. Section 3 contains an estimate of the number of expected annihilation stars as obtained from previous measurements with counter experiments reported by CHAMBERLAIN, SEGRÈ, WIEGAND and YPSILANTIS. Section 4 contains the description of the only event found so far. The mass of the primary particle responsible for it, as obtained from a weighted average using several independent methods is  $(1824 \pm 51) m_e$ . The star produced by it, is associated with a minimum release of « visible » energy of  $\sim 826$  MeV while the corresponding unbalanced « visible » momentum amounts to  $\sim 520$  MeV/c.

### 1. - Introduction.

Among the major research plans for the Bevatron was the investigation of the possible production of antiprotons and their study. This problem has been attacked in several ways and the first success has been the identification



Con Rasetti e Fermi a Roma nei primi anni trenta.



Emilio Segrè nella primavera del 1952. Le equazioni sulla lavagna indicano le reazioni che hanno prodotto gli elementi o gli isotopi scoperti da Segrè: il tecnezio, l'astato e il plutonio 239.



Segrè con C. Wiegand e O. Chamberlain esaminano tracce di antiprotone nel 1955.



Elfriede ed Emilio Segrè con i figli Fausta, Claudio e Amelia a Berkeley nel 1946.

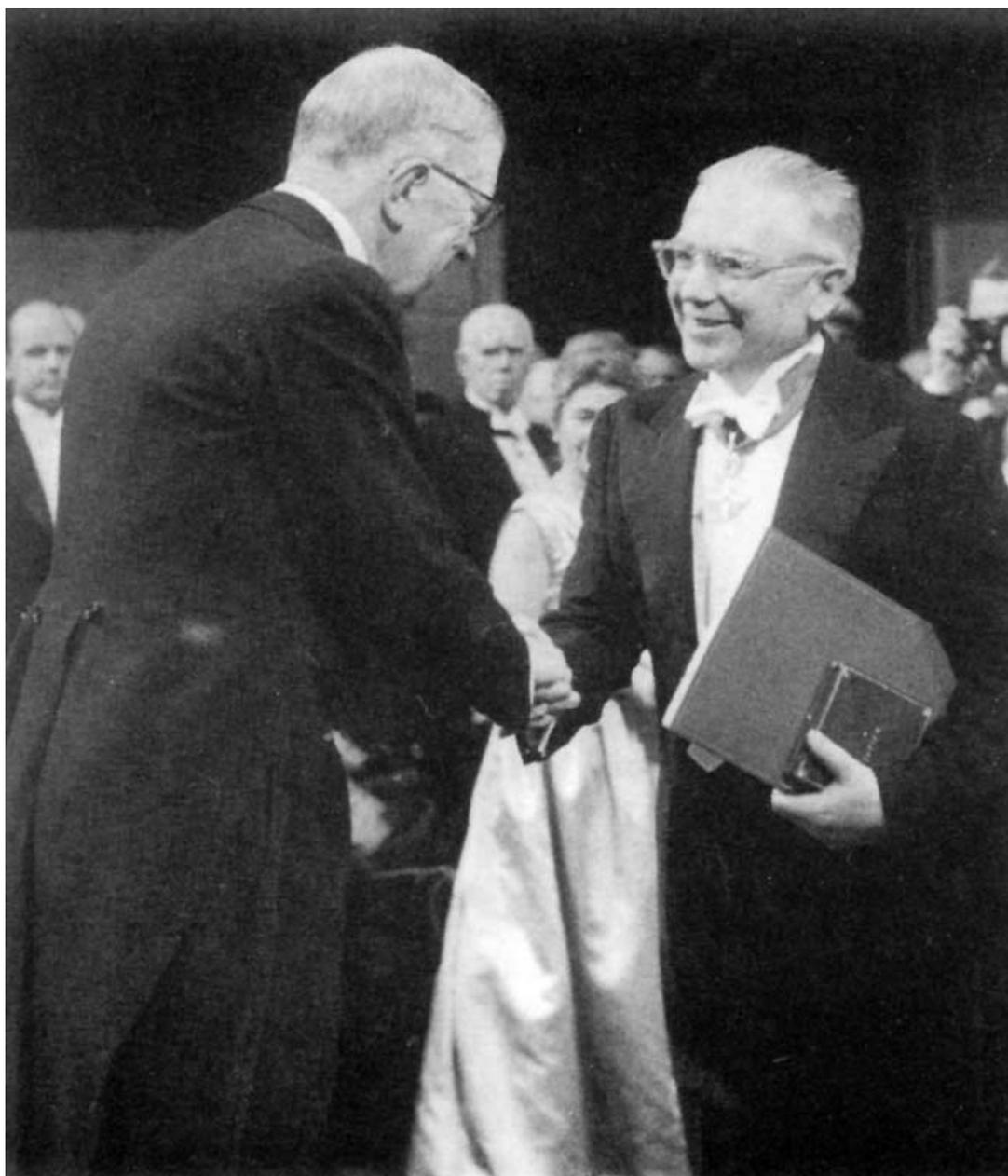
passare a Fisica e diviene il primo allievo di Enrico Fermi, che era di quattro anni più anziano di lui ma già famoso. A Fermi rimase sempre legato da affetto sincero e da profonda ammirazione. Nel suo discorso Nobel lo menziona con i versi Danteschi:

*«fu il mio maestro e il mio autore fu solo colui da cui appresi lo bello stile che m'ha fatto onore».*

Il padre di Emilio, dopo avere parlato per breve tempo a Roma con Fermi, dice al figlio: «Quell'uomo è unico, voi allievi vivete con le sue briciole». E queste briciole erano molto importanti e condussero il gruppo alla scoperta della

radioattività artificiale, come abbiamo visto, e ad altri risultati. Il gruppo era molto affiatato ed ognuno aveva affettuosi soprannomi. Quello di Emilio Segrè era «basilisco», a indicarne il temperamento infuocato.

Nel 1936 vince il concorso a cattedra e diventa professore ordinario a Palermo, dove ottiene importanti risultati e identifica il tecnezio. A Palermo nasce il suo primo figlio Claudio. La moglie Elfriede era stata conosciuta durante un soggiorno in Germania. In Germania viene a conoscenza di un antisemitismo violento, e si allarma quando Hitler visita Roma nel marzo 1938, ricordando nelle sue memorie i versi di



Segrè riceve il premio Nobel per la fisica da re Gustavo di Svezia, 1959.

Trilussa:

*«Roma di travertino  
rifatta di cartone  
saluta l'imbianchino  
suo prossimo padrone».*

Allora aveva deciso di recarsi per tre mesi negli Stati Uniti a Berkeley per studiare gli elementi transuranici, ma decide di chiedere il visto anche per moglie e figlio. Ricorda il funzionario che gli concesse tale visto in via straordinaria. «Ancora mi dispiace di non avere potuto ripagare la bontà del commendatore che probabilmente ci salvò la vita, commenta nelle sue memorie, e spero che il mio successore a Palermo abbia promosso il nipote che doveva sostenere l'esame di fisica.»

Nelle sue memorie non traspare alcun risentimento per le persecuzioni razziali; non vedeva traccia di antisemitismo nei suoi concittadini, e anche con i colleghi tedeschi mantenne sempre buoni rapporti (ad eccezione che con Stern che era veramente nazista). Quando la moglie e il figlio partirono da Palermo per raggiungerlo a Berkeley, tutti li aiutarono, e provvidero a spedire successivamente i mobili. Gli amici di Palermo gli furono sempre cari, i Barresi in particolare. Come succede a molti che hanno vissuto per un certo tempo in Sicilia, fu affascinato dall'umanità e dal calore ospitale dei Palermitani.

Una caratteristica sua è stata la fedeltà alle amicizie. Con la sua tata rimase in costante rapporto per tutta la vita, e così con gli amici.

Nell'autunno del 1938 ricevette l'invito a rimanere a Berkeley per altri tre mesi, al termine dei quali il Direttore del Laboratorio, Lawrence, gli chiese se poteva tornare in Italia e, avuta la risposta, lo invitò a rimanere temporaneamente con lo stipendio di 116 dollari anziché di 300 come prima. Questo non mi piacque, commenta Emilio nelle sue memorie, anche se ora riconosce che era saggia amministrazione. E per molto tempo tenne un atteggiamento critico nei confronti di Lawrence.

Un aspetto del carattere di Emilio Segrè era la sua assoluta franchezza, non mascherata dalla diplomazia. Nella premessa alle sue memorie dice che, conversando con il Governatore della California Pat Brown, a sua richiesta gli raccontò di fatti e persone dell'Università di Berkeley e il Governatore ridendo gli disse: «quello che lei dice è giusto, ma quando si parla a un politico le stesse cose si dicono così, e ripeté le stesse cose in forma diplomatica». «L'episodio

mi rimase impresso» commenta Emilio, «ma temo di non averne tratto profitto».

Durante i primi tempi del soggiorno in America era in costante corrispondenza con la famiglia e gli amici, e ricorda che il padre, a qualche suo lamento sulla mancanza di un posto fisso, saggiamente gli scriveva di non preoccuparsi di altro che di fare buona fisica. Il resto sarebbe venuto da sé.

All'entrata degli Stati Uniti in guerra era già coinvolto nelle ricerche sull'energia nucleare, e fu direttore di un gruppo importante a Los Alamos per la preparazione della bomba al plutonio, l'elemento da lui scoperto. Come già ricordato, la prima bomba del deserto di Alamo-gordo del luglio '45, e la bomba di Nagasaki erano al plutonio.

Il suo atteggiamento sulla divisione che si produsse tra falchi e colombe tra i fisici lo collocava tra i saggi moderati, quali Fermi e Szilard, avversi a Von Newman e Teller. Era sostanzialmente avverso alla costruzione della bomba H e convinto che i sovietici, il cui sistema politico detestava, avrebbero comunque prodotto in breve tempo le stesse armi apocalittiche. Così scrive a questo proposito:

«L'effetto di queste lotte politiche è stato deleterio perché ha avvelenato l'ambiente scientifico e diviso gli scienziati in modo duraturo, anche con comportamenti secondo me riprovevoli (*processo ad Oppenheimer etc.*). Le autorità politiche sono state private di un freddo consiglio tecnico condiviso, e troppe volte è stata loro fornita la conferma ingiustificata dei propri desideri. Battaglie simili a quelle di allora perdurano tuttora e sono una seria minaccia per l'umanità». E infatti racconta di una discussione in un comitato negli anni ottanta sulla difesa antimissile, nel corso della quale si trovò ancora in opposizione a Teller e alla fine della quale con altri espresse il desiderio che i suoi nipoti non morissero giovani.

Dopo la guerra volle tornare alla sua professione di professore universitario e accettò di tornare a Berkeley perché capì giustamente che lì ci sarebbe presto stata la macchina di energia utile. Il Bevatrone di 6 GeV era in costruzione, e come abbiamo detto gli consentì di scoprire l'antiprotone.

Durante il periodo di Berkeley venne spesso in Italia, anche se non poté riabbracciare i genitori. Tra le carte del padre ritrovò l'assegno a lui restituito da un ufficiale tedesco che non era riuscito a fare fuggire la moglie catturata e deportata.

Un evento che gli è particolarmente gradito è la laurea «honoris causa» dell'Università di Palermo nel 1959, che prelude al Premio Nobel. Così scrive:

«Rividi l'Istituto di Fisica di Via Archirafi e alcuni dei vecchi amici siciliani, visitammo allora Siracusa per la prima volta. Lo stesso anno mi fu chiesto di consegnare le medagli-premio a vecchi operai delle Cartiere Tiburtine e la cosa mi fece un immenso piacere».

Nel 1972 ritornò come Professore a Roma e tenne corsi di storia della fisica, che produssero due libri bellissimi: «Dalla gravità alle onde elettromagnetiche» e «Personaggi e scoperte della fisica moderna». Lo addolorò molto la contestazione violenta che vide all'Università e in particolare all'Istituto di Fisica.

Con la moglie Elfriede volle andare a Recanati a visitare la casa di Leopardi. Una caratteristica di Emilio Segrè, comune anche a Fermi e ad altri fisici dell'epoca è l'amore per la poesia. Nelle sue memorie ricorrono strofe intere dell'Ariosto, versi di Schiller e di Göthe, nel discorso Nobel si citano terzine di Dante. L'educazione che allora si assorbiva nella scuola e nella famiglia era impregnata di cultura umanistica e più si approfondisce la conoscenza più ci si convince che cultura umanistica e cultura scientifica non sono disgiunte.

Durante la visita a Recanati la moglie Elfriede morì nel sonno e lui pensò di riprendere la ricerca scientifica d'avanguardia, ma ne venne sconsigliato dai vecchi allievi. Chamberlain nella sua innocenza gli consigliò un centro per anziani. Continuò invece lo studio della storia della fisica, tenendo conferenze ovunque, anche dopo il ritorno in California. Condusse una vita sempre attiva con la seconda moglie Rosa, che come lui amava molto Tivoli.

Ecco come di Tivoli rivisitata parla nei suoi ricordi:

«In tutti i miei soggiorni romani inserivo sempre visite a Tivoli e bagni alle Acque Albule. Riconoscevo ancora la nobiltà della Via Tiburtina nonostante il traffico. Alle Acque mi divertivo ad usare documenti che mi identificavano come Tiburtino e mi davano diritto alla tariffa ridotta. A volte venivo riconosciuto.

Dietro lo stabilimento vedevo in lontananza Tivoli, riconoscevo la nostra casa e i cipressi di Villa d'Este, e i tetti della Cartiera. Se come spesso accadeva ero solo, a tenermi compagnia venivano fantasmi di amici e amiche con cui ero stato nello stesso luogo. Mi parlavano con voci blande e sommesse, felici di ritrovarci insieme».

Anche negli ultimi anni rimase sempre attivo, ed ebbe modo di manifestare il suo equilibrio e la sua saggezza in varie occasioni, tra le quali una riunione a Los Alamos durante la quale ebbe il dibattito con Teller sulla *Strategic Defence Initiative* (S.D.I.) di cui si è detto. Ecco un commento tratto dalla descrizione dei suoi viaggi in Israele:

«La vista per strada dei vecchi scampati ai nazisti e dei giovani Sabra, i monumenti stracarichi di storia, quali la moschea di Omar e il muro del pianto, producono emozioni irresistibili. Troppa passione concentrata in così poco spazio fa temere per l'avvenire.»

Fino alla fine si teneva aggiornato sui progressi della scienza, e quando necessario chiedeva lezioni e spiegazioni ai suoi antichi allievi. Nel suo ultimo anno di vita, il 1989, c'era grande emozione per la «fusione fredda». Telefonò ai presunti scopritori Fleischman e Pons e si convinse che «non era vero». Quando facemmo la nostra scoperta a Roma, gli esperimenti vennero ripetuti in pochi mesi da altri con gli stessi risultati. Commentò. La mancanza di riproducibilità rende il risultato inaccettabile.

«Sabato 22 aprile — scrive la moglie Rosa — pareva uno dei suoi giorni più felici. Era eccitato ed entusiasta per le potenzialità del nuovo computer, come un bambino in un negozio di giocattoli. Dopo pranzo propose di fare una passeggiata. Sceglimmo un sentiero facile e camminammo lentamente parlando delle cose della giornata. A un certo punto mi disse: “aspetta un po'”, e mi mise le mani sulle spalle. Pensai mi desse un bacio, come faceva quando era felice e nessuno vedeva. Invece il suo peso cominciò a farmi cadere».

La vita, cominciata a Tivoli ottantaquattro anni prima, e «la sua mente sempre in moto», erano giunte al loro termine.

**LA DIDATTICA ON-LINE SUL SITO ISHTAR**  
**F. L. Navarra\***, **T. Rovelli\***, **N. Tinti**  
*Dipartimento di Fisica, Università di Bologna*  
*& INFN, v-le B. Pichat 6/2, I-40127, Bologna*

## 1. – Introduzione

Il continuo sviluppo e la sempre crescente diffusione degli strumenti informatici nelle scuole e nelle università incoraggiano la realizzazione di risorse che sappiano sfruttare al meglio anche nel campo dell'insegnamento le nuove potenzialità offerte dalla telematica. Il progetto ISHTAR<sup>(1,2)</sup> (*Innovative Software for Higher-education Tele-matics Applications R & d*) del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna si propone di realizzare strumenti didattici in rete rivolti ai docenti delle università italiane, agli studenti degli ultimi anni delle scuole superiori e agli studenti universitari. A questo scopo è stato creato un sito Internet a cui docenti e studenti possono accedere per utilizzare i servizi messi a disposizione per l'attività didattica in generale e per l'apprendimento della fisica in particolare.

Come risorse pratiche per l'attività didattica sono stati creati vari strumenti di utilità per docenti e studenti con lo scopo di facilitare la pubblicazione e la consultazione di materiale didattico relativo ai singoli docenti e lo scambio di informazioni. Al momento i servizi dedicati ai docenti di università permettono, a ciascun docente iscritto, di gestire uno spazio *web* personale, dove possono trovare posto notizie su corsi, lezioni, orari e altre informazioni per gli studenti. I docenti sono inoltre guidati nella pubblicazione di indicazioni dettagliate relative agli esami: date, luoghi, liste degli studenti iscritti e risultati delle prove. Le istruzioni per l'uso degli strumenti sono contenute in una guida<sup>(3)</sup> in rete collegata con la pagina di accesso alla sezione per i docenti, oltre che in specifiche pagine di aiuto presenti in ciascuna sezione del servizio.

Gli studenti possono consultare liberamente il materiale pubblicato da ciascun docente e iscriversi *on-line* alle liste di esame dei loro corsi.

Come risorse per lo studio, il progetto ISHTAR realizza corsi interattivi<sup>(4,5,6)</sup> su specifici argomenti di fisica, coadiuvando la trattazione

didattica con l'utilizzo di tecniche ipermediali quali animazioni e *applet* nel tentativo di rendere più stimolante il percorso di apprendimento. Gli ipertesti sono inoltre corredati di esempi ed esercizi per l'autoverifica, nonché di approfondimenti storici e matematici. Tutti i corsi sono organizzati in modo che l'approccio all'argomento possa avvenire a diversi livelli, sempre autoconsistenti al loro interno, tipicamente un livello di base e un livello avanzato. In questo modo il materiale risulta calibrato per soddisfare le esigenze di un maggior numero di utilizzatori o per organizzare l'apprendimento in fasi successive. Lo studente, imparando attraverso questi strumenti, viene ad avere un ruolo decisamente attivo sia nello scegliere il tipo di consultazione (tipicamente non sequenziale) che meglio asseconda i propri processi mentali, sia nell'esplorare situazioni e leggi fisiche simulando esperimenti, condizioni reali o prove di laboratorio.

## 2. – Organizzazione del sito

Il sito ISHTAR utilizza una macchina SUN<sup>(7)</sup> Ultra 10 gestita da SunOS, un sistema operativo UNIX proprietario. Oltre alle pagine HTML sono presenti varie pagine interattive realizzate con diversi linguaggi (Java, JavaScript, C, Fortran, Perl, csh).

La pagina principale (fig. 1.a) si trova all'indirizzo *web* <http://ishtar.df.unibo.it/>.

In essa sono subito visibili tre *link* principali che conducono alle tre sezioni principali del servizio: le *risorse per i docenti*, le *risorse per gli studenti* e *I corsi di ISHTAR*.

Le risorse per i docenti sono utilizzabili su richiesta, vale a dire che per accedervi è necessario iscriversi al servizio compilando l'apposito modulo *on-line*. Ogni docente può creare le sue pagine personali. Le pagine possono essere aggiunte, modificate o eliminate (solo dal docente) in qualsiasi momento collegandosi a ISHTAR dal proprio computer. Il *server* ISHTAR riceve i dati tramite i moduli predisposti nelle pagine interattive e li pubblica in rete nello spazio riservato al docente che li ha inviati.

Le pagine pubblicate dai docenti sono subito visibili dagli studenti nell'area del sito a loro dedicata (fig. 1.b), che è ad accesso libero. Per raggiungerle gli studenti devono seguire il percorso relativo alla propria università, facoltà, e al docente di cui desiderano consultare il materiale.

\* Ideatori del sito ISHTAR.

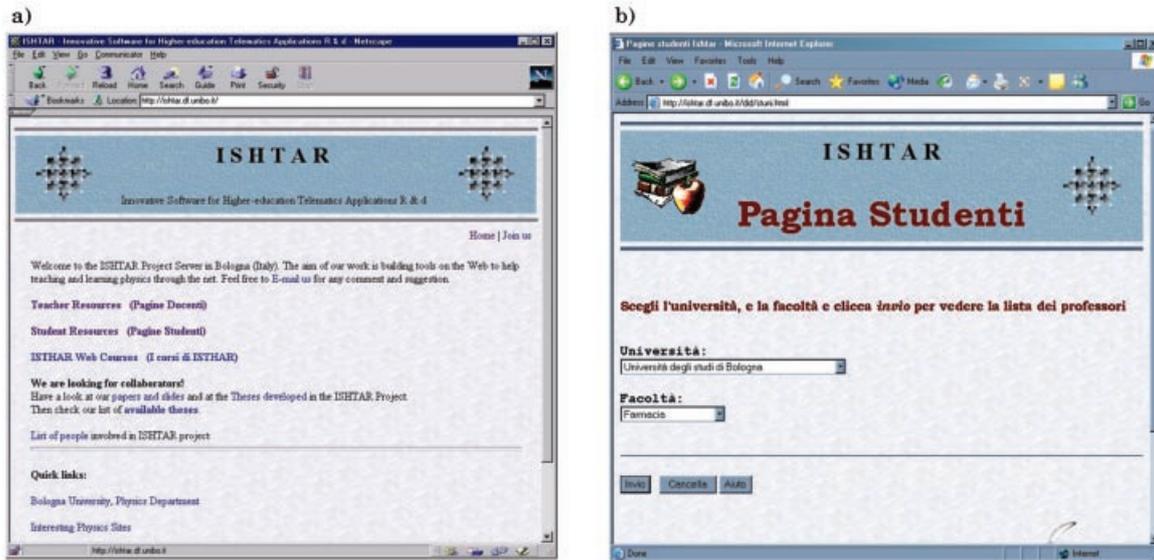


Fig. 1. – a) Home page del sito ISHTAR; b) pagina principale della sezione per gli studenti.

I corsi di ISHTAR, come si è già detto, offrono la possibilità di studiare argomenti di fisica trattati tramite l'uso di tecniche multimediali. Essi sono il risultato di lavori di tesi e di collaborazione nell'ambito della didattica sviluppati con il progetto ISHTAR.

### 3. – Le risorse per i docenti

Per potere accedere alle risorse dedicate ai docenti, occorre spedire la richiesta di registrazione tramite l'apposito modulo accessibile nella sezione a loro riservata e attendere la conferma, tramite posta elettronica, dell'avvenuta iscrizione. I dati da inviare per la registrazione sono il proprio nome e cognome, l'università e la facoltà di appartenenza e il proprio indirizzo di posta elettronica per le comunicazioni con il sito ISHTAR. Occorre inoltre scegliere una password che dovrà essere utilizzata per l'accesso al proprio materiale. L'accettazione dell'iscrizione è subordinata ad un controllo dell'effettiva appartenenza al personale docente.

Una volta ricevuta conferma dell'iscrizione si può cominciare ad utilizzare il servizio, collegandosi dalle pagine per i docenti con il proprio *username* e la *password*. Il *server web* usato da ISHTAR è Apache-SSL<sup>(8)</sup>, grazie al quale si può scegliere il collegamento sicuro tramite SSL (*Secure Sockets Layer*), un protocollo, sviluppato da "Netscape", per trasmettere

dati in forma criptata. Se si sceglie di non utilizzare SSL, la *password* risulterà non protetta. Dall'autenticazione in poi, i programmi eseguiti accedono soltanto ai *files* riservati all'utente collegato, permettendo la modifica, l'aggiunta o l'eliminazione dei propri dati.

Nella progettazione dell'architettura del sito si è posta particolare attenzione al problema della sicurezza. I principali criteri adottati in tal senso sono:

- tutti i *file* relativi alla gestione degli esami e delle liste di esame sono in un'area non accessibile direttamente dall'esterno ma solo attraverso programmi lanciati dal *server web*;
- impossibilità, per lo stesso docente, di potersi collegare al sito da due o più computer contemporaneamente;
- memorizzazione sul *server* dell'indirizzo dell'ultima stazione di lavoro dalla quale il docente si è collegato;
- fine della connessione per prolungata inattività (attualmente dopo 15 minuti).

Le risorse attualmente disponibili sono:

- la gestione dello spazio web personale;
- la gestione degli esami;
- la gestione delle liste di esame.

Il materiale presente sul *server* è periodicamente salvato facendone una copia di riserva con frequenza bi-settimanale.

### 3.1. – La gestione dello spazio web personale

Questa parte del servizio permette al docente di creare e gestire una propria area all'interno del sito, in cui pubblicare tutto quanto egli ritiene utile per gli studenti.

La pagina principale di questa area è riconosciuta dal programma come file di partenza da mostrare agli studenti che lo richiedono attraverso la sezione a loro dedicata. A questa pagina possono essere collegati altri *file* di qualsiasi tipo riconoscibile dai comuni *browser*.

Lo spazio su disco occupato dai *file* di ciascun docente è controllato affinché non possa superare una determinata quota.

Tutte le pagine e i documenti sono creati o modificati dal docente sul proprio computer e in seguito scaricati sul *server* ISHTAR tramite le opportune funzioni della sezione per la gestione dello spazio *web* personale (fig. 2). Tali funzioni permettono anche di compiere una serie di azioni lavorando direttamente sul sito, anziché in locale, come creare ed eliminare *directory* e cancellare i *file* che non è più necessario mostrare.

È possibile inviare i *file* al *server* uno per volta, creando manualmente eventuali *directory* e *subdirectory* dove inserirli, oppure inviare interi archivi di *file*, che saranno aperti dal programma e sistemati a partire dalla *directory* scelta come iniziale. Quest'ultima opzione è particolarmente comoda perché consente di

spedire in una unica operazione parte della struttura del proprio sito, creata o modificata sul PC personale. Inoltre è completamente indifferente il tipo di sistema operativo che si utilizza sul proprio computer, poiché sono riconosciuti sia gli archivi di *file* creati con il programma "WinZip"<sup>(9)</sup> (in ambiente Windows) che quelli creati con il programma "tar"<sup>(10)</sup> (in ambiente Unix).

Per ridurre i tempi di trasferimento al *server*, sia i *file* che gli archivi possono essere inviati in forma compressa usando il programma "gzip"<sup>(11)</sup>.

In conclusione, su qualunque macchina ci si trovi, si possono scaricare dal sito i propri *file*, modificarli, crearne di nuovi e, a lavoro finito, reinviare il tutto al *server* per la pubblicazione. L'ultima versione del lavoro è subito resa disponibile in rete.

### 3.2. – La gestione degli esami

La pagina iniziale di quest'area presenta un menu (fig. 3.a) dal quale si può scegliere fra le opzioni di aggiunta, modifica o eliminazione delle materie di insegnamento e dei relativi appelli di esame.

Aggiungendo una materia è possibile pubblicare sul sito le date e altre eventuali informazioni riguardanti gli appelli d'esame. Inoltre, specificando un indirizzo di posta elettronica, si ricevono le liste degli studenti iscritti agli esami,

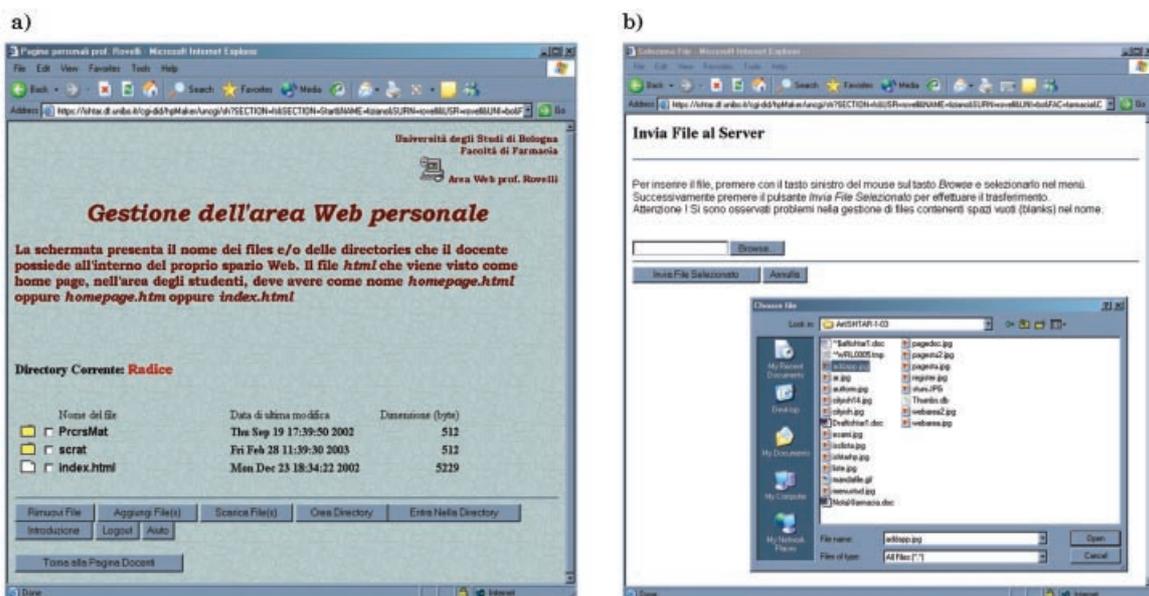


Fig. 2. – Ambiente di lavoro del docente per la pubblicazione dei propri *file* su *Web*. a) Pagina iniziale; b) schermata per il trasferimento di *file* sul *server* ISHTAR.

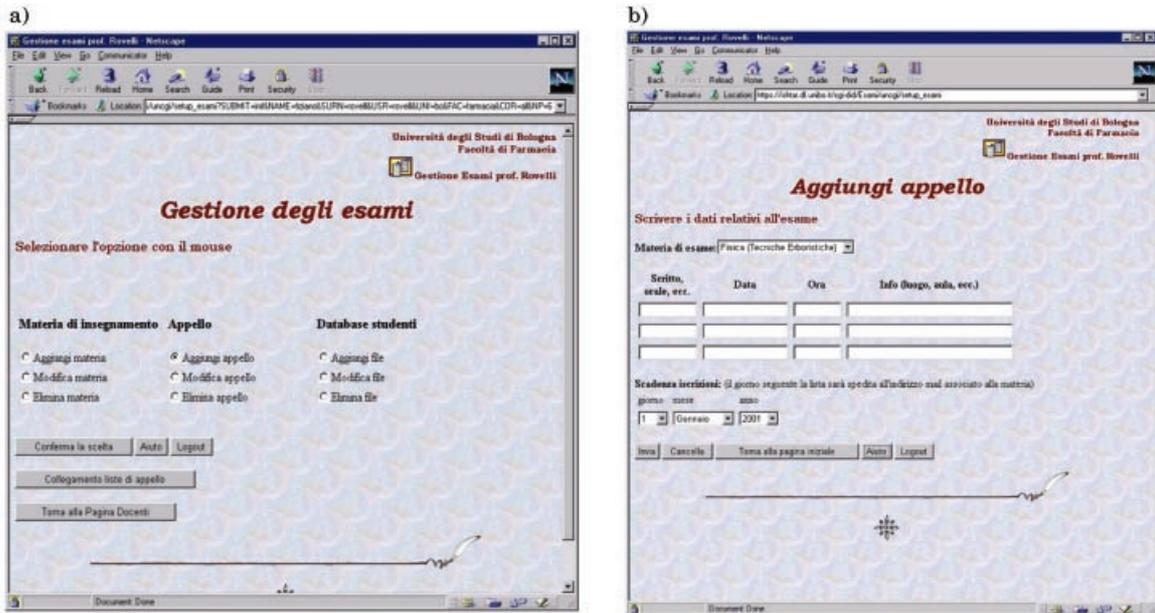


Fig. 3. – Ambiente per la pubblicazione dei dati relativi agli esami. a) Menu principale; b) schermata per l’inserimento di un nuovo appello.

create tramite la sezione dedicata agli studenti.

Le opzioni di modifica consentono di cambiare il nome del corso o l’indirizzo *e-mail* a cui inviare le liste di studenti iscritti all’esame, o entrambi. Se una materia di insegnamento non è più utilizzata la si può eliminare; questa operazione comporta la cancellazione dal *server* di tutti i *file* relativi alla materia in questione, comprendenti l’elenco degli appelli e l’elenco degli studenti. Per ogni materia di insegnamento è possibile inserire un numero a piacere di appelli.

Quando si aggiunge un nuovo appello (fig. 3.b), questo deve riferirsi ad una materia precedentemente registrata. È richiesto di inserire il tipo di prova (ad esempio prova scritta, orale, prova pratica, ecc.), la data, l’ora e altre informazioni quali, ad esempio, il luogo dell’esame. Si stabilisce inoltre una data di scadenza per le iscrizioni all’appello, dopo la quale i dati dell’appello stesso non sono più visibili dagli studenti. Essi rimangono comunque registrati nei *file* del docente fino a quando egli decide di eliminarli.

A volte due o più docenti svolgono gli stessi esami con lo stesso gruppo di studenti. In questo caso è prevista la possibilità di creare una lista di esame comune tramite la funzione “Collegamento liste di appello”. Una volta creata una lista comune, gli studenti potranno iscriversi all’esame indifferentemente dalle pagine di uno qualunque dei docenti che condividono la lista

(accanto alle informazioni sull’esame, comparirà in questo caso tra parentesi il nome degli altri docenti). Alla data di scadenza stabilita una copia della lista di iscritti è inviata a ciascun docente.

### 3.3. – La gestione delle liste

Una volta che le iscrizioni ad un esame sono terminate, il docente può compiere alcune operazioni utili sulle liste di iscritti. Le funzioni eseguibili sono la visione, la stampa o la copia della lista di iscrizione, l’aggiunta o l’esclusione di alcuni studenti, oppure la pubblicazione dei risultati dell’esame.

La pagina principale di questa area presenta un menu (fig. 4.a) in cui selezionare il tipo di operazione che si desidera compiere, seguendo il percorso delle materie di esame e degli appelli registrati precedentemente. La modifica di una lista, da parte del professore, è possibile solo al termine delle iscrizioni. Le liste si possono visualizzare sul *browser*, stampare, oppure se ne può fare una copia da scaricare sul proprio disco locale. È inoltre molto semplice aggiungere i risultati dell’esame (fig. 4.b): nella tabella con i nomi e i numeri di matricola degli studenti che hanno sostenuto l’esame è sufficiente inserire per ciascuno la votazione riportata (o le votazioni, se l’esame consiste in più di una prova). È stato previsto che i risultati possano essere ri-

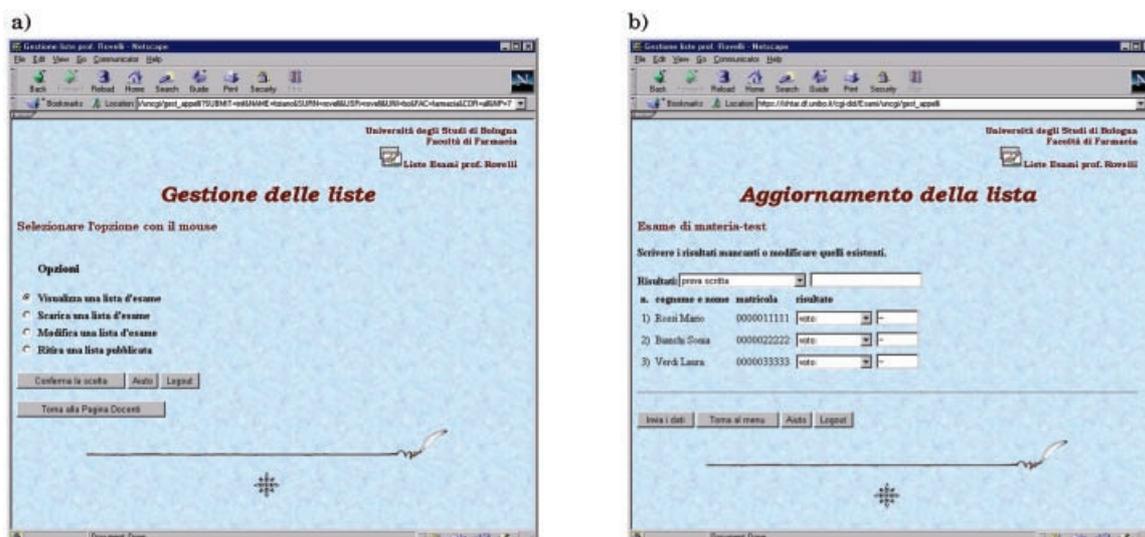


Fig. 4. – Ambiente per l'utilizzo delle liste di esame. a) Menu iniziale; b) schermata per l'inserimento dei risultati di un esame.

portati con diversi formati, potendo trattarsi sia di votazioni numeriche che di giudizi o indicazioni del tipo “sufficiente” o “non sufficiente”.

Quando si modificano liste di esame che appartengono a più docenti (avendo utilizzato la funzione di condivisione delle liste) le modifiche sono riportate su tutte le copie esistenti, con qualche accorgimento: una funzione di controllo avverte se un altro dei docenti che condividono la lista vi sta lavorando per modificarla. In questo caso è consigliabile attendere che il primo utente che ha richiesto il *file* finisca di utilizzarlo, dopodiché l'ultima versione della lista sarà disponibile per la scrittura da parte degli altri, ad esempio per inserire i risultati di un altro gruppo di studenti. Se però il docente, quando riceve l'avviso che il *file* è già in uso, vuole ugualmente modificare la lista, può comunque farlo, scegliendo di continuare con le operazioni richieste.

Una lista di iscrizione o di risultati di un esame resta sul sito nelle pagine per gli studenti per il tempo stabilito dal docente che l'ha pubblicata. Quando si ritiene che la consultazione della lista non sia più necessaria, è possibile ritirarla dalla rete. Il ritiro di una lista non comporta la cancellazione dei *file* corrispondenti, i quali restano comunque a disposizione del docente anche se non più pubblicati. Per le liste condivise, l'operazione ha effetto solo sulle pagine del docente che chiede il ritiro della lista, mentre le copie presenti nelle pagine degli altri docenti rimangono invariate finché non vengono ritirate dai rispettivi proprietari.

#### 4. – Le risorse per gli studenti

Ciascuna operazione compiuta dai docenti tramite gli strumenti a loro dedicati ha un riflesso nelle pagine per gli studenti. Seguendo il *link* per studenti di università si trova la pagina principale per la scelta dell'università e della facoltà, quindi si sceglie fra i docenti della facoltà che hanno pubblicato le loro pagine sul sito. I dati contenuti in queste pagine sono accessibili liberamente, senza l'uso di *password*. Per ciascun professore compare una pagina con tre *link* (fig. 5.a).

Seguendo il *link* “Home page” si visualizza la pagina principale che il docente ha creato tramite la gestione dello spazio *web* personale. In questa pagina il professore pubblica informazioni, *link* esterni utili o collegamenti interni ad altre pagine da lui stesso create e inserite nella propria area *web*.

Seguendo il *link* “Iscrizioni agli appelli di esame” lo studente accede all'elenco degli appelli pubblicati per ciascuna materia (è il corrispondente dello strumento per docenti per la gestione degli appelli d'esame). Il servizio permette di consultare date e luoghi degli esami e le date di scadenza delle iscrizioni, e di inserire o eliminare il proprio nome nella lista di esame dei vari appelli. Per iscriversi occorre inserire il proprio nome e numero di matricola (fig. 5.b).

Le liste contenenti i nomi degli studenti iscritti sono sempre visibili e consultabili, anche prima della data di scadenza delle iscrizioni (in questo caso la lista sarà provvisoria, conte-

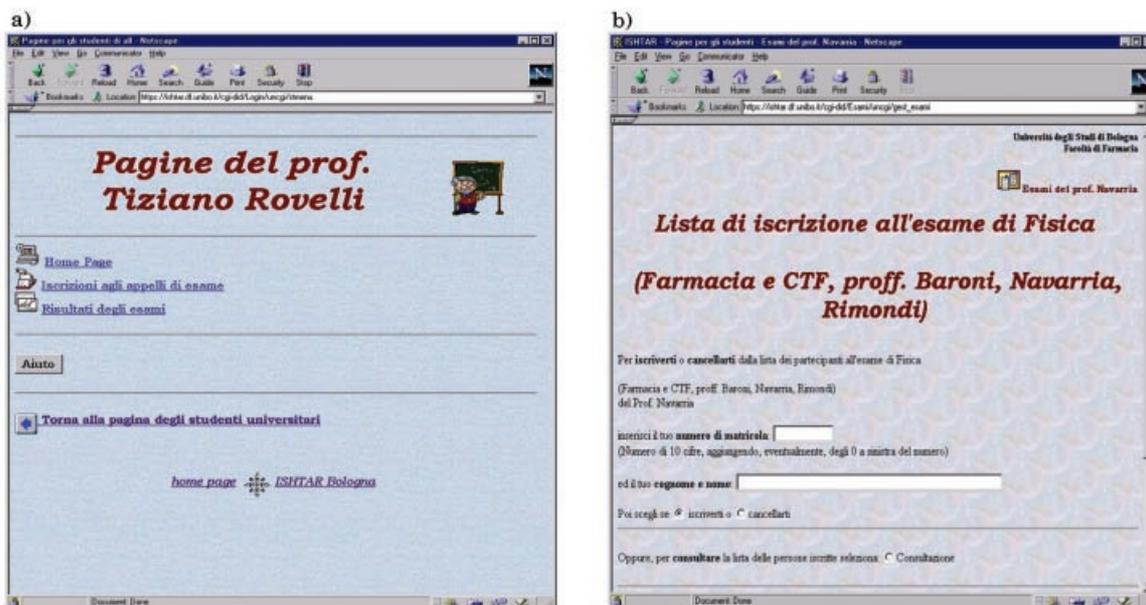


Fig. 5. – a) Pagina di accesso per gli studenti ai servizi in rete del docente. b) Schermata per l'iscrizione *on-line* agli esami.

nendo soltanto gli iscritti fino a quel momento). Lo studente può sempre decidere di ritirare la propria iscrizione, tramite l'apposita funzione, la quale controlla il numero di matricola per confermarne la cancellazione. Una procedura automatica controlla ogni giorno le date di scadenza di tutte le liste; se una lista è scaduta, il *file* corrispondente è inviato al docente (o ai docenti, se più di uno) tramite posta elettronica. Da quel momento la lista non è più accessibile agli studenti per le iscrizioni.

Seguendo il *link* "Risultati degli esami" gli studenti possono consultare anche da queste pagine le liste degli iscritti agli esami, ma soprattutto hanno accesso ai risultati, qualora il docente li abbia pubblicati servendosi degli strumenti per la gestione delle liste. Scegliendo questa opzione è mostrata una tabella con i nomi e numeri di matricola degli studenti che hanno sostenuto l'esame, assieme a una o più colonne contenenti le valutazioni riportate nelle prove.

## 5. – Conclusioni

Il progetto ISHTAR per la realizzazione di strumenti per la didattica su Internet ha ideato e realizzato una serie di servizi che gli autori del sito, in base alla propria esperienza nel campo dell'insegnamento, hanno ritenuto potessero essere utili a docenti e studenti per migliorare l'offerta formativa e rendere più rapido ed effi-

ciente lo scambio di informazioni. Questo grazie alle nuove possibilità fornite dagli strumenti informatici, ormai facilmente accessibili ad un numero sempre crescente di persone. Ciascun docente universitario che ne faccia richiesta diviene in grado di gestire in modo semplice uno spazio *web* personale tramite il quale comunicare anche a distanza con gli studenti, organizzare gli esami, pubblicarne i risultati. Il servizio può essere utilizzato da docenti di qualunque facoltà e per qualunque materia di insegnamento, e di fatto sono già numerosi gli utilizzatori iscritti che se ne servono dalle università di diverse città d'Italia.

## Bibliografia

- (1) G. CATTANI, M. C. COPERCHIO, F. L. NAVARRIA, T. ROVELLI, *Int. Jour. Mod. Phys. C*, **8** (1997) 1177-1192.
- (2) D. LEONE, F. L. NAVARRIA, T. ROVELLI, *Int. Jour. Mod. Phys. C*, **12** (2001) 487-495.
- (3) <http://ishtar.df.unibo.it/did/manstrdid/indice.html>
- (4) M. C. COPERCHIO, *Applicazione didattica realizzata utilizzando tecniche multimediali in WWW*, tesi, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, Luglio 1995.
- (5) G. CATTANI, *WWW e nuove tecnologie per la didattica: elementi di statistica per un corso di fisica*, tesi, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, Giugno 1997.
- (6) S. BERTOLAZZI, *L'insegnamento della meccanica dei fluidi su internet*, tesi, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, Marzo 1999.
- (7) <http://www.sun.com/>
- (8) <http://www.apache-ssl.org/>
- (9) <http://www.winzip.com/>
- (10) [http://www.gnu.org/manual/tar/html\\_node/tar\\_toc.html](http://www.gnu.org/manual/tar/html_node/tar_toc.html)
- (11) [http://www.gnu.org/manual/gzip/html\\_node/gzip\\_toc.html](http://www.gnu.org/manual/gzip/html_node/gzip_toc.html)



### Ricordo di GianPiero Banfi

Il 7 novembre 2002 all'età di 56 anni si è spento a Pavia GianPiero Banfi, professore ordinario di Fisica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia, figura di spicco nella comunità di Fisica della Materia. Lascia la moglie Maria Pia, i figli Francesco e Ludovica.

Laureato in fisica all'Università di Milano nel 1970, Banfi ha iniziato la sua carriera scientifica svolgendo con Tito Arecchi e poi con Rodolfo Bonifacio ricerche sugli effetti cooperativi nei sistemi atomici e sulla teoria della superradianza. I risultati ottenuti su quest'ultimo argomento hanno avuto un notevole rilievo. Trasferitosi all'Università di Pavia negli anni settanta, Banfi, collaborando prima con Arecchi e successivamente con Fernando Amman, avviò un laboratorio per lo studio sperimentale delle interazioni non lineari laser-plasma e per lo sviluppo di sorgenti laser. L'impresa è stata estremamente impegnativa per la complessità (ed il costo) delle tecniche strumentali, ed ha costituito un'importante palestra per la formazione di qualificate competenze sperimentali. Nell'ambito di questa attività Banfi ha trascorso due anni (1981-1983) presso il Max-Planck-Institut di Ottica Quantistica di Garching, in Germania. In parallelo, a partire dalla metà degli anni 80, i suoi interessi si sono anche rivolti alle applicazioni della spettroscopia laser alla fisica dello stato solido. Risultati di un certo rilievo sono stati ottenuti, in collaborazione con il gruppo di Giorgio Samoggia, nello studio di transizioni di fase strutturali in perovskiti mediante genera-

zione di seconda armonica. Questi esperimenti hanno dimostrato che gli effetti ottici non lineari possono essere una sonda molto sensibile e accurata dei fenomeni premonitori in transizioni di fase che comportino il passaggio da strutture centrosimmetriche a strutture non-centrosimmetriche.

All'inizio degli anni '90, l'esigenza di sviluppare una spettroscopia risolta nel tempo di materiali innovativi, ha indotto Banfi ad affrontare il problema della realizzazione di sorgenti laser accordabili ad impulsi ultracorti. Invece di seguire la strada più tradizionale basata su laser che utilizzino transizioni di tipo vibronico, la ricerca di Banfi ha puntato sugli effetti parametrici. In collaborazione con Algis Piskarskas dell'Università di Vilnius (Lituania) e con il Laboratorio Europeo di Spettroscopia Nonlineare (LENS) di Firenze, Banfi ha proposto e realizzato il primo generatore parametrico di impulsi al femtosecondo ad onda viaggiante. Questo risultato ha avuto un vasto riconoscimento internazionale. Negli anni '90 Banfi ha sviluppato, anche in collaborazione con il sottoscritto, una articolata linea di ricerca sperimentale sui materiali ottici non lineari e sulla propagazione non lineare, basata principalmente sull'utilizzo di impulsi laser ultracorti accordabili in frequenza. Banfi ha pubblicato una sequenza di lavori importanti, riguardanti materiali con non linearità del terzo ordine, quali i vetri drogati con nanocristalli di semiconduttori, i polimeri coniugati ed i fullereni, e materiali con non linearità del secondo ordine, quali alcuni cristalli organici non-centrosimmetrici, e cristalli ferroelettrici con orientazione periodica dei domini. Questi lavori hanno prodotto non solo una maggiore comprensione dei meccanismi fisici che regolano le proprietà ottiche di tali materiali, ma anche soluzioni innovative utilizzabili per i dispositivi ottici di interesse per la fotonica. In particolare, la dimostrazione di un convertitore di lunghezza d'onda mediante cascata di effetti nonlineari del secondo ordine in guide d'onda di niobato di litio ha aperto la strada ad interessanti applicazioni nel campo delle comunicazioni ottiche.

I suoi interessi recenti di ricerca riguardavano la generazione di impulsi ultrabrevi nella regione del VUV, la fotomissione attraverso eccitazione multifo-

tonica per lo studio degli elettroni nei metalli, e lo studio della dinamica di spin in film magnetici, temi su cui aveva una forte interazione con Fulvio Parmigiani. Nell'ultimo anno aveva anche avviato una linea di ricerca sui solitoni ottici spaziotemporali, in collaborazione con Paolo Di Trapani.

Grazie alla sua competenza nello sviluppo e gestione di sorgenti laser accordabili ad impulsi ultracorti, qualche anno fa è stata finanziata dall'Istituto Nazionale per la Fisica della Materia (INFN) a Pavia una sorgente ai femtosecondi (inquadrata nella rete INFN denominata FEMTOLAB) che costituisce attualmente lo strumento principale di ricerca sperimentale per diversi gruppi INFN di Pavia ed di altre sedi.

Banfi è stato un fisico di grande originalità e competenza, con doti sia teoriche che sperimentali, che ha sempre mantenuto un grande rigore nella conduzione degli esperimenti e nell'interpretazione dei risultati ottenuti. Per i suoi colleghi e giovani collaboratori è stato un esempio di impegno ed entusiasmo per la ricerca scientifica. La sua capacità di comunicare con gli studenti e i dottorandi ne ha fatto un didatta di grandissima efficacia. Le sue qualità didattiche sono state apprezzate non solo nell'ambito del suo trentennale impegno presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia, ma anche in numerose Scuole Nazionali e Internazionali di Fisica a cui è stato invitato ad insegnare. Tra queste ricordo con particolare piacere la "Enrico Fermi International Summer School" della Società Italiana di Fisica dal titolo "Nonlinear Optical Materials: Principles and Applications", svoltasi a Varenna nel 1993 sotto la direzione di Christos Flytzanis (Ecole Polytechnique) e mia, alla quale Banfi ha contribuito sia come segretario scientifico che come docente.

Nei giorni 15 e 16 giugno 2003 ricorderemo a Pavia GianPiero Banfi con un *International Workshop* dal titolo "Recent Trends in Nonlinear Optics and Ultrashort Pulse Generation". Abbiamo cercato di comporre un programma che fosse in sintonia con l'innata curiosità ed il giovanile entusiasmo per la Fisica che ha sempre dimostrato nella sua troppo breve esistenza.

V. Degiorgio  
Università di Pavia

# PERCORSI

## LA SCOPERTA DEI BOSONI CARICHI INTERMEDI NEL GENNAIO DEL 1983: VENTI ANNI ORSONO

G. Salvini

*Dipartimento di Fisica, Università di Roma La Sapienza, Roma*

Il 1983 è una data storica della fisica delle particelle elementari. Infatti in quell'anno vennero finalmente scoperti al CERN di Ginevra i bosoni intermedi  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ , particelle di massa pari a circa cento volte la massa del protone. L'esistenza di queste particelle pesanti ed instabili era ipotizzata da molti anni, dopo la teoria di Fermi del 1933 sulle interazioni deboli, come un elemento necessario di legame per unificare in un quadro coerente le forze elettromagnetiche e le forze deboli. (La attuale teoria elettrodebole.)

Riteniamo giusto e significativo ricordare oggi, a distanza di esattamente vent'anni, questa scoperta, e quell'incontro: *Third Topical Workshop on Proton-Antiproton Collider Physics* tenuto in Roma il 12-14 Gennaio del 1983, ove essa venne discussa e annunciata, anche se non ancora ufficialmente, dai fisici sperimentali e teorici impegnati nella ricerca.

I *Proceedings* (gli atti) di questo incontro, *Editors* C. Bacci e G. Salvini, furono pubblicati dal CERN (CERN, 83-04 10 Maggio 1983, 578 pagine). Non occorre aggiungere molto ai lucidi rendiconti di quel 1983, chiaramente consapevoli dell'importanza dell'evento e delle sue conseguenze future. Conviene quindi riportare anzitutto, in Italiano, la presentazione (*Forward*) di questi *Proceedings*, riportata alle sue pagine VII, VIII. Ecco il testo da noi tradotto:

### Foreword

Questi sono i rendiconti del terzo incontro sulla fisica con l'Anello Protone-Antiprotone.

Gli incontri precedenti si tennero a Parigi, al College de France, nel 1979, ed a Madison (U.S.A), nel 1981. Questo terzo incontro, a Roma, copre i risultati sperimentali ottenuti sino al Dicembre del 1982, con gli anelli incrociati di protoni (ISR) e con il Super Proto Sincrotrone (SPS) usato come anello di accumulazione per l'urto protone antiprotone. Era da aspettarsi, e fu subito a noi chiaro durante l'incontro di Roma e subito dopo, che questo incontro di Roma sarebbe stato molto importante. Infatti esso prenderà un posto significativo nella storia delle particelle elementari per almeno due ragioni. La prima è che la luminosità totale dell' SPS durante il 1982 ha permesso l'esplorazione di eventi nella regione di 100–200 picobarn ( $10^{-33} - 10^{-34} \text{ cm}^2$ ). Questo significa che per la prima volta abbiamo potuto esplorare "*Electroweakland*", la regione delle interazioni deboli, ed andare a verificare se questi bosoni vettoriali, previsti dalla teoria nel 1967, veramente esistono.

La seconda ragione è la scoperta di alcune strutture semplici di base negli urti protone-antiprotone a grande energia trasversa.

Un numero di eventi con elettroni isolati di grande energia trasversa sono stati presentati per la prima volta a questa Conferenza, dai due gruppi sperimentali UA1 ed UA2. Questi eventi sono ora accettati come dimostrazione dell'evidenza della produzione di bosoni W carichi con successivo decadimento leptonic. Questa conclusione non fu affermata in modo definitivo all'incontro di Roma, per una comprensibile prudenza da parte dei gruppi, che volevano raffinare e confermare le loro evidenze sperimentali.

In vista di ogni possibile futuro interesse, noi abbiamo considerato conveniente pubblicare, insieme alle note sul W presentate dai relatori di UA1 e di UA2 alla fine della Conferenza, anche la copia delle trasparenze presentate nei loro discorsi.

Come adesso è ben noto, due note scientifiche sono state presentate ad una Rivista Internazionale nello stesso mese di Gennaio 1983. Si può vedere che tutti i dati sperimentali furono quelli già presentati all'incontro di Roma.

È veramente da sottolineare la velocità con cui i dati furono analizzati ed interpretati, se si considera la complessità degli urti e la delicatissima struttura dei rivelatori. In fine vogliamo osservare che i tre indimenticabili giorni di questa conferenza in Roma hanno accresciuto la nostra confidenza sulla capacità dei Paesi Europei di lavorare insieme efficientemente nei più avanzati e difficili campi della scienza e della tecnologia.

*The Advisory and the Organizing Committee of this Rome Workshop.*

È da sottolineare in questo *Foreward*, la lusinghiera dimostrata dai suoi estensori. A questa Conferenza di Roma vennero dunque presentati da Carlo Rubbia per UA1 e da Pierre Darriulat per UA2 i risultati ottenuti. La loro lettura è molto interessante. Lo storico della scienza che studierà queste due note osserverà la cura con cui non è ancora chiaramente proclamata l'esistenza del bosone W carico.

In realtà essa era ormai nell'aria, e questo *meeting* si tenne in una atmosfera di successo, per una impresa che a molti fisici era apparsa impossibile, e che riuscì per la capacità tecnica e di inventiva dei suoi duecento protagonisti. I risultati sui bosoni W vennero pubblicati in contemporanea dai due gruppi pochi giorni dopo, sulla rivista *Physics Letters*:

- Per il gruppo UA1: *Phys. Lett. B* **122**, 103 (1983)
- Per il gruppo UA2: *Phys. Lett. B* **122**, 476 (1983).

L'incontro venne tenuto a Roma, e toccò a me, editore dei *Proceedings* insieme al fisico di UA1 Cesare Bacci, il compito di leggere l'introduzione al *meeting*. In questa introduzione una premessa storica illustra i passi delle scoperte che portarono al successo della conferenza di Roma. Si ricorda la nuova apertura sulla fisica iniziata da Bruno Toushek e Collaboratori nel 1960-61 con l'anello AdA di accumulazione  $e^+e^-$ , sino ai successi della fisica  $e^+e^-$  negli anni settanta; ed infine la dura incredibile marcia della fisica protone-antiprotone, dalla iniziale illuminazione di Budker del 1961, a questo

*meeting* del Gennaio 1983. Io credo conveniente riportare, dopo vent'anni, una parte di questa introduzione, perché essa ripercorre brevemente le tappe che hanno portato alla preparazione delle due ricerche che ho detto, UA1 ed UA2, ed al loro storico successo. Riporto questa parte in traduzione italiana e senza alcuna aggiunta, anche se naturalmente tutti gli interventi al *meeting* si tennero in inglese.

### **Introduzione in Roma al Convegno del 12-14 Gennaio 1983** (G. Salvini, pagg. 3-9).

Questa fisica protone-antiprotone è il secondo atto nella fisica della materia contro antimateria, che ha visto sempre l'Europa tra i Paesi protagonisti. Il primo atto è stato la fisica dell'urto  $e^+e^-$ . Fatemi andare attraverso alcuni storici passi, e vi chiedo scusa se ricorderò in particolare il ruolo di questo Istituto, e dell'Italia.

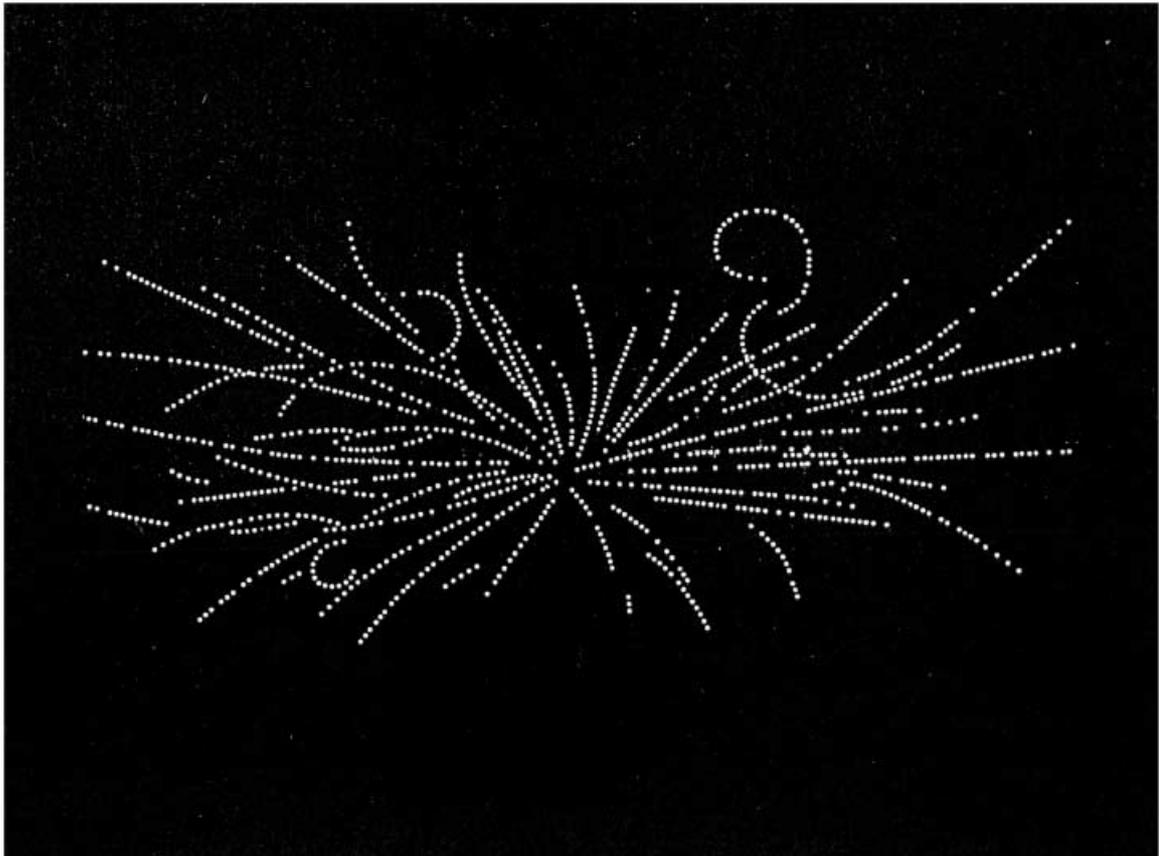
- È in questo luogo, non in queste mura, ma nell'Istituto fisico dell'Università di Roma, che Enrico Fermi nel 1933 (esattamente or è mezzo secolo) scrisse una storica memoria di poche pagine, che costituisce la prima teoria delle interazioni deboli<sup>(1)</sup>.
- Nel marzo del 1960 Bruno Toushek, professore in questo Istituto, propose a Frascati il primo anello di accumulazione  $e^+e^-$ , AdA<sup>(2)</sup>. (Io ero allora Direttore dei Laboratori di Frascati, e sono lieto per avere favorito e incoraggiato per quanto possibile la partenza di questo storico sviluppo). Fisici e tecnici dei laboratori di Frascati partirono immediatamente per una realizzazione che è rimasta una delle più veloci nella storia delle macchine acceleratrici: AdA era pronta nel Febbraio del 1961. Gli anni 1961-1963. Sono gli anni di AdA ad Orsay, con una intensa collaborazione dei fisici italiani e francesi<sup>(3)</sup>.
- La preparazione dell'anello di accumulazione  $e^+e^-$  ACO inizia nel 1964, e nel 1966 iniziano le storiche ricerche di ACO e della macchina VEP realizzata dai Russi<sup>(3)</sup>. I mesoni vettoriali  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ , sulle linee teoriche della dominanza vettoriale ancora ritenuta valida, vennero attentamente studiati<sup>(4)</sup>. (Cogliamo l'occasione anche qui per ricordare il nostro indimenticabile ispiratore teorico scomparso, il fisico Jun John Sakurai<sup>(4)</sup>.)
- La costruzione di ADONE, l'anello di collisione  $e^+e^-$  da 3 GeV, partì nel 1963, e fu pronto nel 1969.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI ROMA  
UNIVERSITY  
OF ROME



ISTITUTO NAZIONALE  
DI FISICA NUCLEARE  
NATIONAL INSTITUTE  
OF NUCLEAR PHYSICS

# 3rd TOPICAL WORKSHOP ON PROTON ANTIPROTON COLLIDER PHYSICS●



## TOPICS

- REVIEW AND PERSPECTIVES AFTER ONE YEAR OF PROTON-ANTIPROTON PHYSICS.
- RECENT DATA FROM PROTON-ANTIPROTON COLLIDERS.
- INTERMEDIATE BOSONS: THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PROGRESS.
- NEW FLAVOURS: EXPERIMENT AND THEORY.
- RECENT ADVANCES IN TECHNIQUES FOR HIGH ENERGY EXPERIMENTS.
- FUTURE COLLIDERS.

ROME JANUARY 12-14 1983

### ADVISORY COMMI TTEE

- N. CABIBBO
- P. DARRIULAT
- D. CLINE
- E. GABATHULER
- M. L. LEDERMAN
- C. RUBBIA
- G. SALVINI
- A. ZICHICHI

### ORGANIZING COMMI TTEE

- C. BACCI
- B. BORGIA
- S. CUNSOLO  
*(Director of the in-  
stitute of Physics -  
Chairman)*
- S. d'ANGELO
- L. PAOLUZI

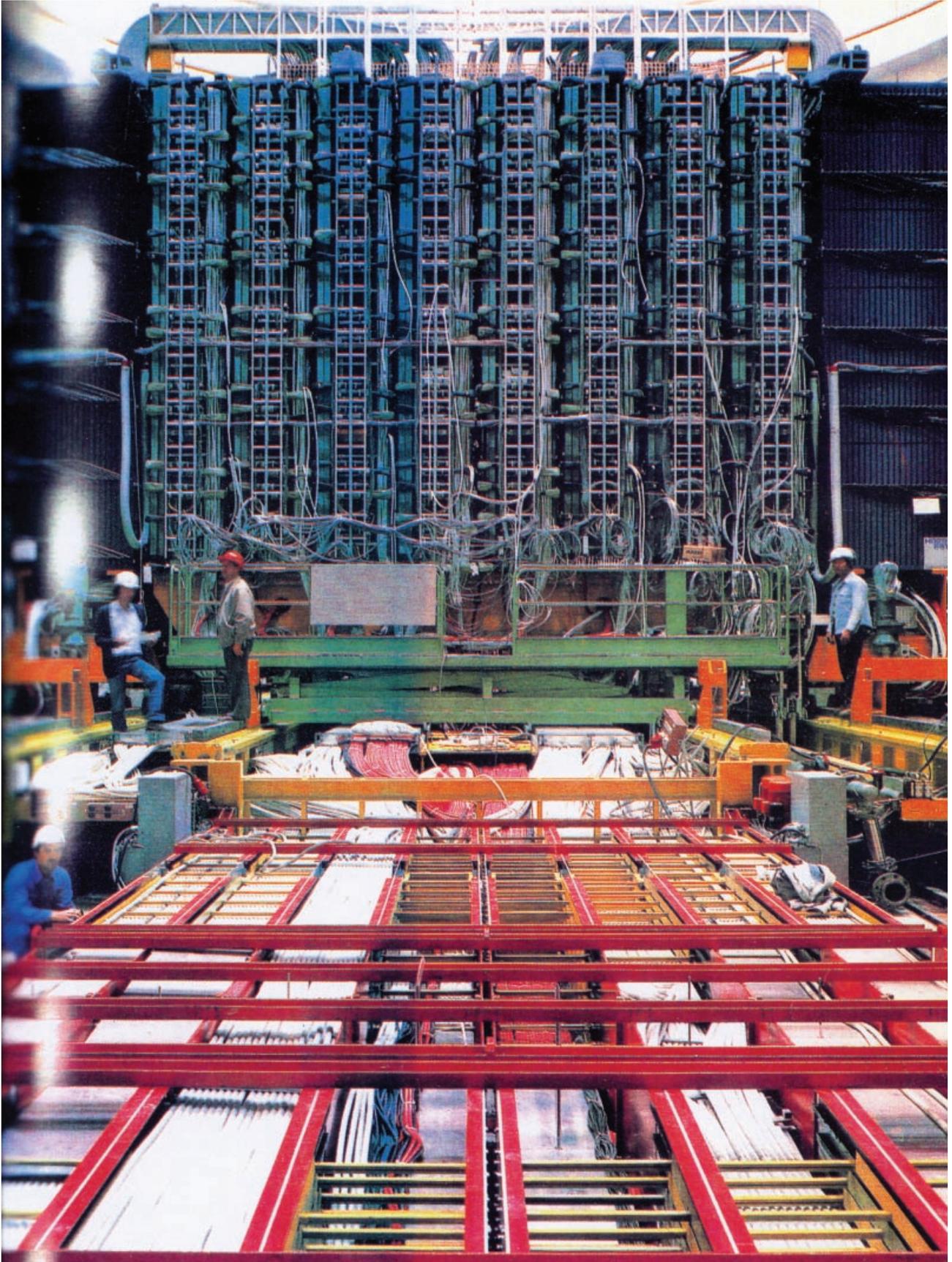
Address request for information and irivitations to:

Prof. C. BACCI

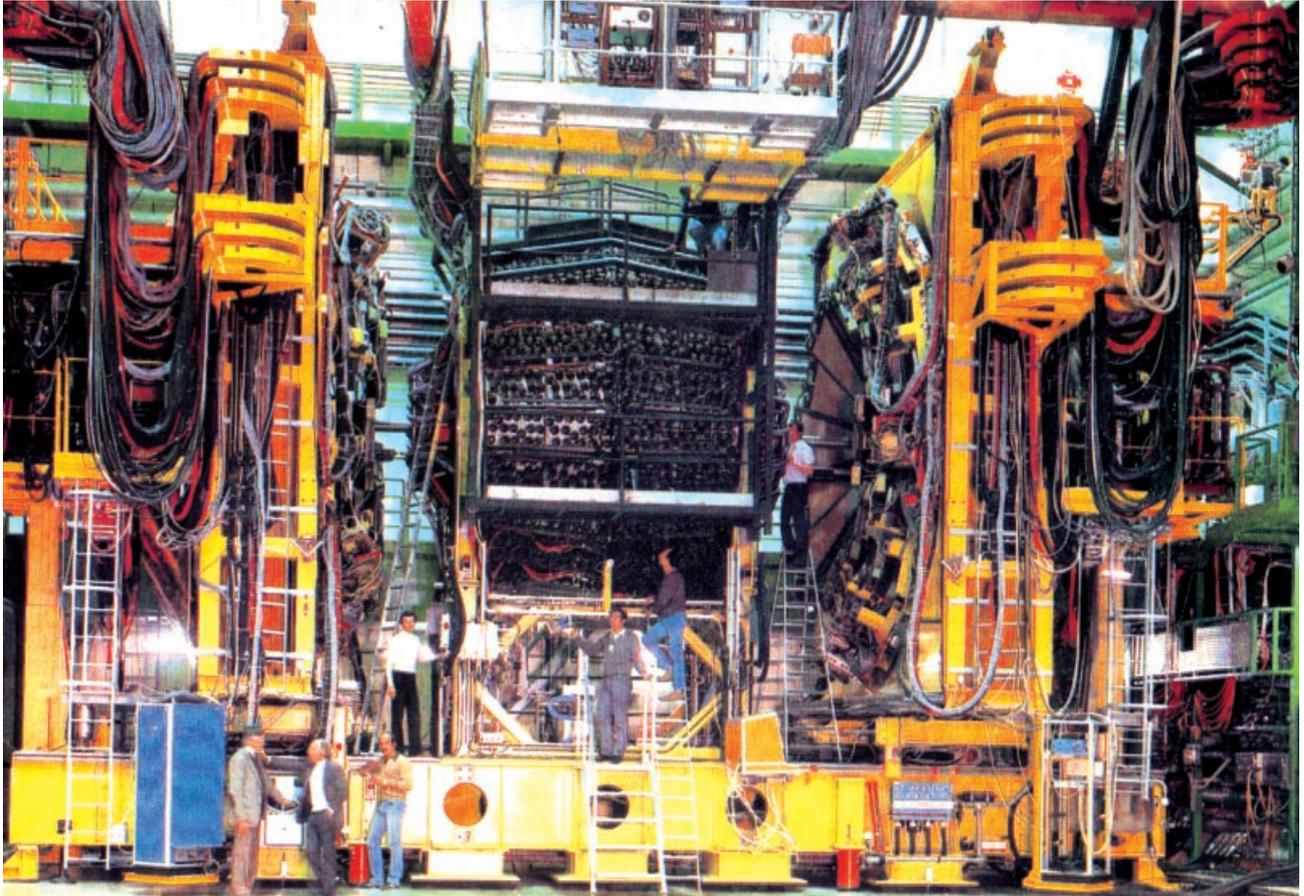
3-rd Topical Workshop on proton antiproton collider Physics  
Istituto di Fisica «G. Marconi»

P.le Aldo Moro, 2 - 00185 Roma - Italia

● Previous Workshops were held at College de Franca (1979)  
and at Madison (1981)



La parte centrale del rivelatore usato dalla collaborazione UA1 per la ricerca dei bosoni.



Il rivelatore usato dalla collaborazione UA2 per la ricerca dei bosoni.

32

- 1970: inizia la fisica di ADONE. Il deserto di sole interazioni elettromagnetiche si ricopre di alberi adronici: è la produzione multiadronica, che in parte era prevedibile dopo i risultati di SLAC (l'acceleratore lineare per elettroni di Stanford)<sup>(5)</sup>. Sfortunatamente la natura non è stata generosa con i fisici di ADONE: la nostra massima energia era di 3 GeV nel centro di massa, ma la  $J\psi$  ha una massa pari a  $3070 \text{ MeV}/c^2$ , ed il mesone  $\tau$  ha una massa di  $1784 \text{ MeV}/c^2$ .
- 1973 e seguenti: sono gli anni gloriosi di SPEAR, DORIS, PETRA, PEP. È l'inizio della rivoluzione dei nostri tempi, e non occorre ripeterla qui. Fatemi solo ricordare che il numero di Dicembre del 1974 di *Physical Review Letters*, annunciava con entusiasmo la  $J\psi$  da più di due laboratori (Stanford, Brookhaven e subito dopo Frascati), con un Editoriale che esaltava i nuovi inattesi arrivati<sup>(6)</sup>.
- Ma intanto il secondo atto della vicenda materia antimateria (da  $e^+e^-$  a protone-antiprotone) era già partito, durante gli anni sessanta: Nel 1966 Budker<sup>(7)</sup> propone il raffreddamento

elettronico, un metodo per collimare gli anti-protoni, e quindi permettere urti tra fasci di protoni e di antiprotoni. Ricordo bene l'interesse per la sua proposta (la udii per la prima volta a Saclay, nel Settembre 1966) negli occhi attenti dei costruttori di AdA ed in me. Poco dopo Budker espone le sue idee concrete ed avanzate durante una visita a Frascati.

- Nel 1966-68 venne la proposta di Simon Van der Meer<sup>(8)</sup> di un raffreddamento stocastico. Entrambi i metodi hanno avuto successo, come sappiamo, in questi ultimi dieci anni.
- 1976: arriviamo ai tempi recenti, della proposta di C. Rubbia, D. Cline, P. McIntyre<sup>(9)</sup> di usare la grande macchina per protoni del CERN, SPS, come collisore protone-antiprotone.
- Nel 1977 si sviluppò al CERN un completo progetto per usare l' SPS come anello di collisione tra protoni ed antiprotoni. Questa è stata una notevole impresa di molti ingegneri e fisici e tecnici di varie specializzazioni, con C. Rubbia e S. Van der Meer come protagonisti. Sappiamo che C. Rubbia è stato il legame continuo tra la macchina e l'esperimento.

- 123 -

EXPERIMENTAL OBSERVATION OF ISOLATED LARGE TRANSVERSE ENERGY ELECTRONS  
WITH ASSOCIATED MISSING ENERGY AT  $\sqrt{s} = 540$  GeV

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

Aachen<sup>1</sup>-Annecy (LAPP)<sup>2</sup>-Birmingham<sup>3</sup>-CERN<sup>4</sup>-Helsinki<sup>5</sup>-QMC, London<sup>6</sup>-Paris  
 (Coll. de France)<sup>7</sup>-Riverside<sup>8</sup>-Rome<sup>9</sup>-Rutherford Appleton Lab.<sup>10</sup>-  
 Saclay (CEN)<sup>11</sup>, Vienna<sup>12</sup> Collaboration

*Presented by C. Rubbia*

G. Arnison<sup>1\*</sup>, A. Astbury<sup>1\*</sup>, B. Aubert<sup>2</sup>, C. Bacci<sup>2</sup>, G. Bauer<sup>\*\*</sup>, A. Bézaguet<sup>2</sup>,  
 R. Böck<sup>3</sup>, T.J.V. Bowcock<sup>3</sup>, M. Calvetti<sup>3</sup>, T. Carroll<sup>3</sup>, P. Catz<sup>3</sup>, P. Cennini<sup>3</sup>,  
 S. Centro<sup>3</sup>, F. Ceradini<sup>3</sup>, S. Cittolin<sup>3</sup>, D. Cline<sup>\*\*</sup>, C. Cochet<sup>11</sup>, J. Colas<sup>2</sup>,  
 M. Corden<sup>3</sup>, D. Dallman<sup>12</sup>, M. DeBeer<sup>11</sup>, M. Della Negra<sup>2</sup>, M. Demoulin<sup>2</sup>,  
 D. Denegri<sup>11</sup>, A. Di Ciaccio<sup>3</sup>, D. DiBitonto<sup>3</sup>, L. Dobrzynski<sup>7</sup>, J.D. Dowell<sup>1</sup>, M. Edwards<sup>3</sup>,  
 K. Eggert<sup>1</sup>, E. Eisenhandler<sup>6</sup>, N. Ellis<sup>6</sup>, P. Erhard<sup>1</sup>, H. Faissner<sup>1</sup>, G. Fontaine<sup>7</sup>,  
 R. Frey<sup>8</sup>, R. Frühwirth<sup>12</sup>, J. Garvey<sup>3</sup>, S. Geer<sup>7</sup>, C. Ghesquière<sup>7</sup>,  
 P. Ghez<sup>2</sup>, K.L. Giboni<sup>1</sup>, W.R. Gibson<sup>8</sup>, Y. Giraud-Héraud<sup>7</sup>, A. Givernaud<sup>11</sup>,  
 A. Gonidec<sup>2</sup>, G. Grayer<sup>1\*</sup>, P. Gutierrez<sup>8</sup>, T. Hansl-Kozanecka<sup>1</sup>,  
 W.J. Haynes<sup>1\*</sup>, L.O. Hertzberger<sup>4</sup>, C. Hodges<sup>8</sup>, D. Hoffmann<sup>1</sup>, H. Hoffmann<sup>8</sup>,  
 D.J. Holthuizen<sup>4</sup>, R.J. Homer<sup>3</sup>, A. Honma<sup>6</sup>, W. Jank<sup>6</sup>, G. Jorat<sup>6</sup>, P.I.P. Kalmus<sup>6</sup>,  
 V. Karimäki<sup>5</sup>, R. Keeler<sup>6</sup>, I. Kenyon<sup>3</sup>, A. Kernan<sup>6</sup>, R. Kinnunen<sup>5</sup>, H. Kowalski<sup>6</sup>,  
 W. Kozanecki<sup>2</sup>, D. Kryn<sup>6</sup>, F. Lacava<sup>6</sup>, J.-P. Laugier<sup>11</sup>, J.-P. Lees<sup>2</sup>, H. Lehmann<sup>1</sup>,  
 K. Leuchs<sup>1</sup>, A. Lévêque<sup>11</sup>, D. Linglin<sup>2</sup>, E. Locci<sup>11</sup>, M. Loret<sup>11</sup>, J.-J. Malosse<sup>11</sup>,  
 T. Markiewicz<sup>8</sup>, G. Maurin<sup>8</sup>, T. McMahon<sup>3</sup>, J.-P. Mendiburu<sup>7</sup>, M.-N. Minard<sup>2</sup>,  
 M. Moricca<sup>3</sup>, H. Muirhead<sup>6</sup>, F. Muller<sup>6</sup>, A.K. Nandi<sup>1\*</sup>, L. Naumann<sup>8</sup>, A. Norton<sup>8</sup>,  
 A. Orkin-Lecourtois<sup>7</sup>, L. Paoluzi<sup>2</sup>, G. Petrucci<sup>8</sup>, G. Piano Mortari<sup>8</sup>, M. Pimiä<sup>5</sup>,  
 A. Placci<sup>8</sup>, E. Radermacher<sup>1</sup>, J. Ransdell<sup>8</sup>, H. Reithler<sup>1</sup>, J.-P. Revol<sup>1</sup>, J. Rich<sup>11</sup>,  
 M. Rijssenbeek<sup>8</sup>, C. Roberts<sup>1\*</sup>, J. Rohlf<sup>8</sup>, P. Rossi<sup>8</sup>, C. Rubbia<sup>8</sup>, B. Sadoulet<sup>8</sup>,  
 G. Sajot<sup>7</sup>, G. Salvi<sup>6</sup>, G. Salvini<sup>3</sup>, J. Sass<sup>11</sup>, J. Saudraix<sup>11</sup>, A. Savoy-Navarro<sup>11</sup>,  
 D. Schinzel<sup>8</sup>, W. Scott<sup>1\*</sup>, T.P. Shah<sup>1\*</sup>, M. Spiro<sup>11</sup>, J. Strauss<sup>12</sup>, K. Sumorok<sup>2</sup>,  
 F. Szoncco<sup>12</sup>, D. Smith<sup>8</sup>, C. Tao<sup>8</sup>, G. Thompson<sup>6</sup>, J. Timmer<sup>8</sup>, E. Tscheslog<sup>1</sup>,  
 J. Tuominiemi<sup>5</sup>, S. Van der Meer<sup>8</sup>, J.-P. Vialle<sup>8</sup>, J. Vrana<sup>7</sup>, V. Vuillemin<sup>8</sup>,  
 H.D. Wahl<sup>12</sup>, P. Watkins<sup>1</sup>, J. Wilson<sup>1</sup>, G.Y. Xie<sup>8</sup>, M. Yvert<sup>2</sup>, E. Zurfluh<sup>8</sup>

\* NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands

\*\* University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA

ABSTRACT

We report the results of two searches made on data recorded at the CERN SPS Proton-Antiproton Collider: one for isolated large- $E_T$  electrons, the other for large- $E_T$  neutrinos using the technique of missing transverse energy. Both searches converge to the same events, which have the signature of a two-body decay of a particle mass in excess of 70 GeV/c<sup>2</sup>. The topology as well as the number of events fits well the hypothesis that they are produced by the process  $\bar{p} + p \rightarrow W^\pm + X$ , with  $W^\pm \rightarrow e^\pm + \nu$ ; where  $W^\pm$  is the Intermediate Vector Boson postulated by the unified theory of weak and electromagnetic interactions.

33

PRELIMINARY SEARCHES FOR HADRON JETS  
AND FOR LARGE TRANSVERSE MOMENTUM ELECTRONS  
AT THE SPS  $\bar{p}p$  COLLIDER

The UA2 Collaboration.

M. Banner<sup>(f)</sup>, R. Battiston<sup>\*,f</sup>, Ph. Bloch<sup>(f)</sup>, F. Bonaudi<sup>(b)</sup>, K. Borer<sup>(a)</sup>,  
M. Borghini<sup>(b)</sup>, J.-C. Chollet<sup>(d)</sup>, A.G. Clark<sup>(b)</sup>, C. Conta<sup>(e)</sup>, P. Darriulat<sup>(b)</sup>,  
L. Di Lella<sup>(b)</sup>, J. Dines-Hansen<sup>(c)</sup>, P.-A. Dorsaz<sup>(b)</sup>, L. Fayard<sup>(d)</sup>, M. Fraternali<sup>(e)</sup>,  
D. Froidevaux<sup>(b)</sup>, J.-M. Gaillard<sup>(d)</sup>, O. Gildemeister<sup>(b)</sup>, V.G. Goggi<sup>(e)</sup>, H. Grote<sup>(b)</sup>,  
B. Hahn<sup>(a)</sup>, H. Hänni<sup>(a)</sup>, J.R. Hansen<sup>(b)</sup>, P. Hansen<sup>(c)</sup>, T. Himel<sup>(b)</sup>, V. Hungerbühler<sup>(b)</sup>,  
P. Jenni<sup>(b)</sup>, O. Kofoed-Hansen<sup>(c)</sup>, E. Lançon<sup>(f)</sup>, M. Livan<sup>(b,e)</sup>, S. Loucatos<sup>(f)</sup>,  
B. Madsen<sup>(c)</sup>, P. Mani<sup>(a)</sup>, B. Mansoulié<sup>(f)</sup>, G.C. Mantovani<sup>\*</sup>, L. Mapelli<sup>(b)</sup>,  
B. Merkel<sup>(d)</sup>, M. Mermikides<sup>(b)</sup>, R. Møllerud<sup>(c)</sup>, B. Nilsson<sup>(c)</sup>, C. Onions<sup>(b)</sup>,  
G. Parroul<sup>(b,d)</sup>, F. Pastore<sup>(b,e)</sup>, H. Plothow-Besch<sup>(b,d)</sup>, M. Polverel<sup>(f)</sup>,  
J-P. Repellin<sup>(d)</sup>, A. Rothenberg<sup>(b)</sup>, A. Roussarie<sup>(f)</sup>, G. Sauvage<sup>(d)</sup>, J. Schacher<sup>(a)</sup>,  
J-L. Siegrist<sup>(b)</sup>, H.M. Steiner<sup>†(b)</sup>, G. Stimpfl<sup>(b)</sup>, F. Stocker<sup>(a)</sup>, J. Teiger<sup>(f)</sup>,  
V. Vercesi<sup>(e)</sup>, A. Weidberg<sup>(b)</sup>, H. Zaccone<sup>(f)</sup> and W. Zeller<sup>(a)</sup>.

*Presented by P. Darriulat*

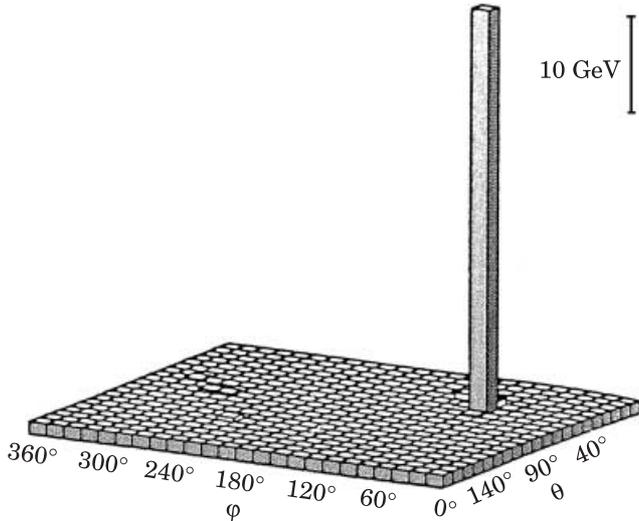
- 
- a) Laboratorium für Hochenergie physik, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, Bern, Switzerland.
- b) CERN, 1211 Geneva 23, Switzerland.
- c) Niels Bohr Institute, Blegdamsvej 17, Copenhagen, Denmark.
- d) Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Université de Paris-Sud, Orsay, France.
- e) Istituto di Fisica Nucleare, Università di Pavia and INFN, Sezione di Pavia, Via Bassi 6, Pavia, Italy.
- f) Centre d'Etudes nucléaires de Saclay.
- \* Gruppo INFN del Dipartimento di Fisica dell'Università di Perugia (Italy)
- † On leave from Lawrence Berkeley Laboratory, USA.
- ‡ Also at Scuola Normale Superiore, Pisa, Italy.

ABSTRACT

We present a preliminary analysis of the UA2 data collected during the last Collider run (20 nb<sup>-1</sup> integrated luminosity) with particular emphasis on large transverse momentum hadron jets and on electrons having the configuration expected from the decay of electroweak bosons. The data provide very strong evidence of two-jet dominance in events with large transverse energy in the central region.

Four electron candidates have been observed with a transverse momentum in excess of 20 GeV/c, which are associated with no other large transverse energy production within the UA2 acceptance. While this result is in all respects consistent with a W + eν hypothesis, more work is needed to ensure that the background is well understood and to further ascertain electron identification.

No electron pair was detected with an invariant mass in excess of 40 GeV/c<sup>2</sup>.



**Collaborazione UA2 . Un evento con un solo elettrone di alta energia trasversa in tutto il piano  $\theta, \varphi$ . Lo sbilanciamento della quantità di moto trasversa e la presenza di questo elettrone solitario indicano la probabile produzione di un bosone W carico che si disintegra in un elettrone ed un neutrino.**

- La preparazione di quattro esperimenti, UA1, UA2, UA4, UA5, partì nel 1978, e la loro struttura ed i loro risultati verranno ricordati tra poco in questa conferenza.
- A metà del 1981, noi avemmo la prima indicazione che l'urto protone-antiprotone non era un sogno: Le interazioni protone-antiprotone si producevano chiaramente, ed erano ben separate dagli urti con i gas residui della camera.
- Nell'ultima parte del 1981 si raccolsero centinaia di migliaia di eventi protone-antiprotone. Ma pure molte persone, che seggono oggi in questa stanza, pensarono onestamente che eravamo matti se speravamo di entrare in "PicoLand", cioè di riuscire a misurare sezioni d'urto minori di  $10^{-33} \text{ cm}^2$  con questa macchina arrangiata modificando l'SPS.
- Ed eccoci oggi, all'inizio del 1983. Questa conferenza viene alla fine del 1982 : un anno di successo, che ci ha dato la luminosità che cercavamo, con i risultati che adesso sentirete.

.....

Tra un giorno (io parlavo il 12 gennaio 1983, prima della presentazione dei risultati ) noi sapremo cosa abbiamo veramente raccolto. Può anche darsi che andremo a casa senza ancora sapere se i due giganti, W e Z, sono veramente in vista, pronti a dare il benvenuto a noi, nuovi

visitatori sperimentali . Ma sappiamo ormai una cosa, all'inizio di questo 1983: siamo entrati nella terra delle interazioni deboli, ci muoveremo in essa sino in fondo, e potremo chiedere a Madre Natura una risposta alle nostre domande precise.

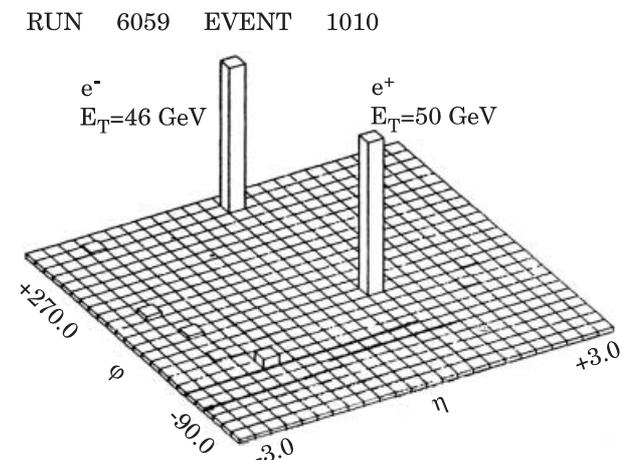
Sappiamo anche che stiamo iniziando una lunga via. Potremo essere più ambiziosi che la semplice richiesta di un si od un no sull'esistenza dei bosoni intermedi: noi vogliamo in futuro verificare l'esistenza delle particelle di Higgs, e dei sapori più pesanti, e verificare l'accordo con la quantocromodinamica attuale. Nulla sarà ovvio o facile. Sappiamo ormai che la realtà fisica, anche quando le prime attese sono confermate, può saltarci addosso nei modi più inattesi.

.....

Non sono mai stato tanto interessato e curioso quanto oggi. E mi considero fortunato di essere qui. Molte persone capiscono e vedono meglio di me, in questa stessa stanza. Ma il futuro di queste cose, di queste sorprese, di questi sviluppi sperimentali, è oltre la capacità di un singolo uomo, qualunque sia il suo valore.

E permettetemi di esprimere un desiderio: Forse stiamo entrando in una terra molto più etesa di quanto avevamo previsto, e che nessuno di noi può coprire pienamente. Le forze dell'Europa e di tutti i continenti debbono perciò unire i loro sforzi. Ed anche così potrebbe non bastare.

(fine dell' Introduzione al convegno, letta il 12 Gennaio 1983 )



**Collaborazione UA1. Evento di creazione di un bosone neutro  $Z^0$  che si disintegra in un elettrone ed un positone. (Phys. Lett. B, 126 (1983) 398).**

**Alcune osservazioni finali.**

Mi permetto oggi, a distanza di vent'anni da questo documento, di fare alcuni commenti.

1. Il *meeting* di Roma è stato l'annuncio della scoperta dei bosoni intermedi W, positivi e negativi. La scoperta dei bosoni neutri Z fu più laboriosa, anche per la più bassa sezione d'urto di produzione. Essa avvenne nel giugno di quello stesso anno 1983, dopo l'incontro di Roma. È giusto ricordare in tutta l'impresa il merito particolare di Carlo Rubbia, che ebbe giustamente il premio Nobel insieme a Van der Meer, nel 1984.

Queste scoperte fecero vibrare all'epoca tutto il mondo scientifico delle particelle elementari, e non mancò chi pensasse che con queste scoperte la fisica delle particelle fosse arrivata ad una sorta di gloriosa chiusura, ad un risultato quasi definitivo. Oggi sappiamo che queste importanti scoperte, entro certi limiti previste, hanno generato una curiosità di capire di più, ed hanno spalancato le porte di grandi problemi nuovi ed aperti.

Oggi infatti, trascorso il primo entusiasmo, sappiamo più che venti anni or sono che anche in fisica delle particelle i nostri problemi ancora sostanzialmente irrisolti sono ampi e numerosi. Sono le nostre stesse scoperte sperimentali, possiamo dire, che li hanno spalancati davanti a noi. Ricordiamone soltanto alcuni :

2. La scoperta dei bosoni intermedi e la verifica delle loro proprietà ha portato alla costruzione del famoso modello Standard, ed alla "bramosia" di scoprire la particella di Higgs, che in un certo senso è l'architrave del nostro sistema di particelle. Non sappiamo con precisione dove la Higgs con la sua massa si può precisamente trovare; questi anni sono impegnati in tutto il mondo per la ricerca di questa particella. Non è escluso che la sua scoperta debba attendere alcuni anni ancora, sin che sarà pronto il grande collisore LHC (Large Hadron Collider) del CERN, che si spera ultimato entro il 2007.

3. La materia oscura. Abbiamo scoperto di conoscere il nostro Universo meno di quanto alcuni decenni or sono potessimo pensare. Forse esistono particelle diverse da quelle del modello Standard, ed esse forse sono presenti

con una massa totale molto maggiore della massa totale delle particelle che pensavamo dominanti : elettroni, protoni, neutroni, neutrini.

4. Noi abbiamo con notevole fiducia configurato negli ultimi anni la nascita e la morte del nostro Universo con il cosiddetto "Big Bang": Un modello di istantanea origine, con una sua evidenza sperimentale e con una sua logica coerente, ma comunque con molti aspetti ancora oscuri. In questi anni sono sorti pensieri e teorie nuove, quali ad esempio l'affascinante modello inflazionario, e l'ipotesi di un Universo di più dimensioni. Alcuni astrofisici parlano di multi-universi; altri si chiedono se il meccanismo dell'origine ci è in realtà comunque ignoto, perché segue leggi e modalità fisiche a noi sconosciute.

Questo è forse il magnifico destino delle scoperte sperimentali precise, come quella dei bosoni intermedi che abbiamo adesso ricordato: Esse allargano i nostri confini, ci possono rendere orgogliosi, per un momento, della nostra capacità. Ma presto ci stimolano verso nuove e più profonde curiosità, e ci aiutano a sentire i limiti della nostra conoscenza rispetto all'universo magnifico ed arcano che ci sovrasta.

**Bibliografia**

- (1) E. FERMI: *Tentativo di una teoria dell'emissione dei Raggi Beta: Ricerca Scientifica IV*, Vol. 2 ( 1933) p. 491-495.
- (2) C. BERNARDINI, G.F. CORAZZA, G. GHIGO, B. TOSHEK; *Nuovo Cimento*, **18** (1960) 1293
- (3) J.P. PEREZ-y-JORBA, F.M. RENARD; *Phys. Rep.* **31** (1977). Si ritrova in questa nota una ben organizzata presentazione dei rilevatori, dall'inizio sino al 1976. V.N. BAIER *et al.*, in *Proceedings of the International Conference on High Energy Accelerators* (Dubna, 1963).
- (4) J.T. SAKURAI; *Ann. Phys.* **11** (1960).
- (5) E.D. BLOOM; *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, **23** (1969) 930. See ref. (3).
- (6) J.J. AUBERT *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, **33** (1974) 1404. J.E. AUGUSTIN *et al.*; *Phys. Rev. Lett.* **33** (1974) 1406. C. BACCI *et al.*; *Phys. Rev. Lett.* **33** (1974) 1408.
- (7) G.I BUDKER, *Proceedings of the International Symposium on Electron Positron Storage Rings, Saclay, Sept. 26-30* (Presses Universitaires de France) 1966.
- (8) Staff of the CERN Proton-Antiproton Project; *Phys. Lett. B*, **107** (1981) 306.
- (9) C. RUBBIA, P. McINTYRE, D. CLINE; *Proceedings International Neutrino Conference, Aachen (1976)* (Vieweg, Braunschweig) 1977, p. 683.

*L'alto livello delle ricerche di ottica degli elettroni svolte nel gruppo diretto da Ugo Valdré è ben noto, ma non è forse altrettanto noto che il primo esperimento che rivela l'interferenza di Young del singolo elettrone con sé stesso, e quindi dimostra la validità dell'interpretazione probabilistica della Meccanica Quantistica è nato in quel gruppo ad opera di Merli, Missiroli e Pozzi. A loro è stato chiesto di ricordare questo evento, che realizza un esperimento definito da Feynman "esperimento concettuale", in connessione con il fatto che proprio l'esperimento dell'interferenza dei singoli elettroni è stato votato dai lettori di "Physics World" come il più bello della Fisica.*

G.F. Bassani

## L'ESPERIMENTO DI INTERFERENZA DEGLI ELETTRONI SINGOLI

**P. G. Merli\***

LAMEL, CNR Bologna, Italy

**G.F. Missiroli\*\***

Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

**G. Pozzi\*\*\***

Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

Lo scorso anno il Prof. R. Crease (Dipartimento di Filosofia dell'Università di New York a Stony Brook) esperto di storia della scienza chiese ai lettori di "Physics World", una rivista dell'Institute of Physics (UK), quale fosse l'esperimento di fisica più bello. Risposero più di 200 lettori e la graduatoria risultante, riportata nel numero di settembre 2002 di "Physics World", fu la seguente:

1. Esperimento della doppia fenditura di Young applicata all'interferenza di singoli elettroni
2. Esperimento di Galileo sulla caduta dei corpi (1600)
3. Esperimento di Millikan con le goccioline di olio (1910)
4. Scomposizione da parte di Newton della luce solare con un prisma (1665-66)
5. Esperimento di Young di interferenza della luce (1801)

6. Esperimento con la bilancia di torsione di Cavendish (1798)
7. Misura della circonferenza della terra di Eratostene (3° secolo AC)
8. Esperimento di Galileo con sfere che scendono lungo un piano inclinato (1600)
9. Scoperta del nucleo da parte di Rutherford (1911)
10. Pendolo di Foucault (1851).

Come si vede il primo della lista risultò l'esperimento della doppia fenditura di Young applicato all'interferenza di un singolo elettrone. A proposito di questo esperimento R. Crease ha scritto:

*"L'esperimento illustra la dualità onda corpuscolo e permette di capire immediatamente il significato fisico della funzione d'onda associata all'elettrone. Esso contiene l'essenza della meccanica quantistica. Ha tutte le caratteristiche che permettono di definire un esperimento bello.*

*È di importanza strategica nel senso che è capace di convincere anche il più scettico sui fondamenti della meccanica quantistica.*

*È semplice, facile da capire nonostante i risultati siano rivoluzionari.*

*Il mondo della meccanica quantistica è e rimarrà assolutamente lontano dal nostro intuire indipendentemente da quanto si conosca la teoria.*

*L'esperimento di interferenza di elettroni con elettroni singoli pone la realtà dinanzi ai nostri occhi in modo semplice, chiaro e coinvolgente. È quindi presumibile che rimarrà nel pantheon degli esperimenti meravigliosi per molti anni a venire."*

Nello stesso numero della rivista dove il Prof. Crease illustra i risultati della sua inchiesta l'Editore, Prof. P. Rodgers, riporta un'analisi storica degli esperimenti di interferometria elettronica e attribuisce il merito del primo esperimento con elettrone singolo al Dr. Akira Tonomura e collaboratori della Hitachi che lo pubblicarono nel 1989.

In realtà il primo esperimento fu realizzato quindici anni prima dagli estensori della presente nota come riconosciuto nel numero di maggio 2003 di "Physics World", in cui sono state pubblicate a chiarimento e a conclusione del contendere tre lettere: una di un eminente fisico inglese John Steeds (che sollevava il problema della priorità), una nostra e una di A. Tonomura. Le ultime due lettere riportano an-

\* merli@lotto.lamel.bo.cnr.it

\*\* f.missiroli@tin.it

\*\*\* Giulio.pozzi@bo.infm.it

che le foto dei risultati sperimentali (ottenuti, i nostri, nel 1974 e pubblicati nel 1976; e, quelli di Tonomura e del suo gruppo, nel 1987 e pubblicati nel 1989).

In particolare, nella lettera di Tonomura, l'autore, fra l'altro, dice testualmente: "A mia conoscenza, storicamente, il gruppo di Bologna è stato il primo a pubblicare questi esperimenti che mostrano la formazione delle figure di interferenza" (*Physics World*: Vol. 20, n. 5 (2003), pag. 20).

A questo punto ci sembra opportuno riportare alcune informazioni di carattere storico che permettono anche di cogliere la ragione di quelle lettere.

I primi esperimenti di interferometria elettronica sono stati fatti da due di noi (GFM e GP) presso il Centro di Microscopia Elettronica, diretto dal Prof. Valdrè, dell'Istituto di Fisica di Bologna a partire dal 1971. Il dispositivo interferometrico messo a punto da noi riproduceva quello ideato da Möllenstedt e Düker nel 1955 e consisteva in un sottile filo conduttore, (diametro inferiore al micrometro al quale viene poi applicato un potenziale dall'esterno) che si trova posto fra due lamine al potenziale di terra.

Questo dispositivo, schematizzato in fig. 1, ha la proprietà di deflettere gli elettroni di un angolo  $a$  proporzionale al potenziale applicato e, in prima approssimazione, indipendente dalla distanza della traiettoria elettronica dal filo. È in pratica l'equivalente elettro-ottico del biprisma di Fresnel e viene per questo chiamato biprisma elettronico.

È questo un metodo interferometrico basato sulla divisione del fronte d'onda, come l'esperimento con due fenditure rimpiazzate dalle due sorgenti virtuali.

Queste prime applicazioni dell'interferometria elettronica a carattere didattico hanno portato ad una pubblicazione sull'*"American Journal of Physics"*, Vol. 41 (1973) pp. 639-44 e ad un premio (nel 1972) al 58° Congresso SIF a Cagliari quale miglior lavoro presentato al concorso bandito dalla SIF per esperienze di fisica a carattere didattico.

Era comunque chiaro che questa metodologia permetteva di evidenziare, tramite lo spostamento delle frange di interferenza, gli effetti di fase dovuti a microcampi magnetici od elettrici presenti in un campione sottile osservato al microscopio. Le prime applicazioni si riferirono allo studio di domini magnetici, successivamente l'interesse applicativo si estese allo stu-

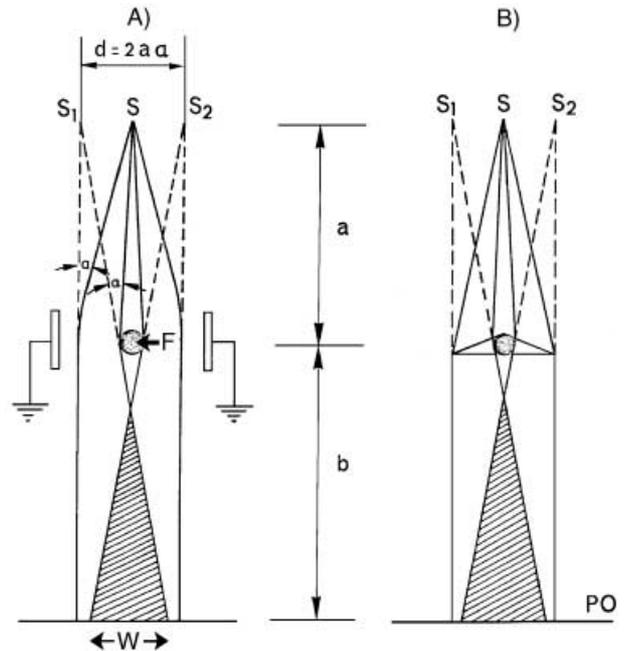


Fig. 1. - A) Biprisma elettronico convergente. B) Biprisma ottico convergente.  $S$  sorgente di elettroni;  $S_1, S_2$  sorgenti virtuali distanti tra di loro  $d$ ;  $a$  angolo di deflessione degli elettroni quando al filo  $F$  è attribuito un potenziale positivo;  $a$  distanza fra sorgente  $S$  e il filo  $F$ ;  $b$  distanza fra il filo  $F$  e il piano ove si formano le frange  $PO$ ;  $W$  larghezza della zona di sovrapposizione sul piano  $PO$ .

dio dei microcampi elettrostatici associati a giunzioni p-n in dispositivi elettronici.

Quest'ultima attività era portata avanti presso l'Istituto LAMEL del CNR di Bologna da PGM, anch'egli laureatosi presso il Centro di Microscopia Elettronica, con il Prof. U. Valdrè.

L'Istituto LAMEL disponeva di un microscopio di ultima generazione, un Siemens Elmiskop 101, che venne opportunamente tarato ed adattato per operare in microscopia elettronica interferenziale. (P.G. Merli, G.F. Missiroli, G. Pozzi: *Electron interferometry with the Elmiskop 101 electron microscope. J. Phys. E - Scient. Instr.* Vol. 7 (1974) pp. 729-32).

Alcuni anni prima i ricercatori della Siemens avevano sviluppato un intensificatore di immagini che permetteva di mettere in evidenza il segnale corrispondente all'arrivo sullo schermo di un elettrone singolo. Alcuni risultati erano stati presentati dal Prof. Hermann alla prima Scuola Internazionale di Microscopia Elettronica di Erice (1971), cui partecipavano P.G.M. e G.P., che ne furono molto impressionati. Verso la fine del 1973 sapemmo che l'Istituto di Anatomia Umana dell'Università di Milano, diretto dal Prof. Angelo Bairati, dove era

già operante un microscopio Elmiskop 101 eguale a quello del LAMEL, aveva installato sullo strumento l'intensificatore in questione che era stato reso commerciale e venduto come accessorio.

Avevamo sviluppato un interferometro che operava su di un banco elettro-ottico ben noto e tarato: l'Elmiskop 101. Su uno strumento analogo c'era un intensificatore di immagini che lasciava intravedere la possibilità di realizzare l'esperimento ideale riportato nelle famose lezioni di Feynman (o in testi equivalenti). Col senno di poi ci appare scontato che chiedessimo al Prof. Angelo Bairati il permesso di fare l'esperimento presso il suo Istituto. Il permesso ci fu concesso e all'inizio del 1974 l'esperimento fu fatto e filmato.

Il filmato riprendeva la formazioni delle frange di interferenza a partire dai primissimi stadi quando su ogni fotogramma erano presenti uno o pochi elettroni sino allo stadio finale in cui venivano registrati in un fotogramma un numero relevantissimo di elettroni.

Due sono stati gli approcci sperimentali:

1) mantenere costante il tempo di integrazione (tipicamente un venticinquesimo di secondo) e variare con continuità l'intensità del fascio elettronico;

2) mantenere costante l'intensità del fascio a valori tanto bassi da avere il passaggio di un elettrone alla volta ed eseguire una successione di fotogrammi a tempi di integrazione via via crescenti.

Nessuna apprezzabile differenza era visibile nella formazione del sistema di frange operando nei due modi. Alcuni dei fotogrammi del film sono stati usati per un paio di articoli didattici pubblicati sul "Giornale di Fisica" (*Diffrazione e interferenza di elettroni: Diffrazione*, Vol. 15 (1974) pp. 163-87; *Interferenza*, Vol. 17 (1976) pp. 83-101) e sull'"*American Journal of Physics*" (*On the statistical aspect of electron interference phenomena*, Vol. 44 (1976), pp. 306-7).

I fotogrammi qui riprodotti in fig. 2 sono quelli già comparsi sul "Giornale di Fisica".

Questi risultati sono stati favorevolmente re-

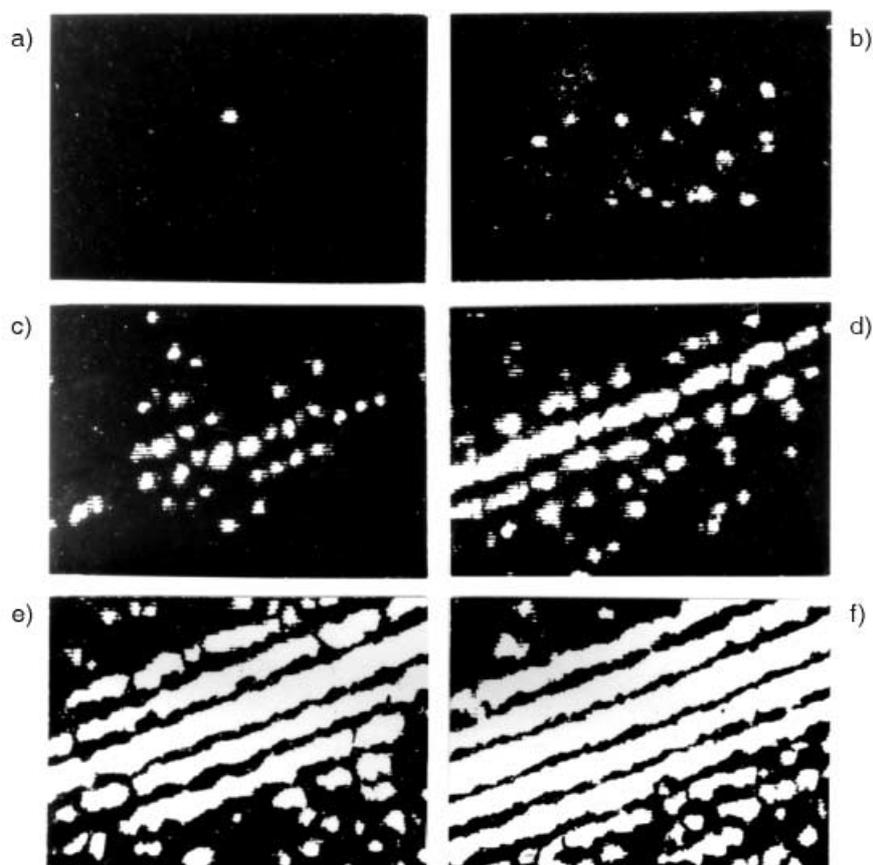


Fig. 2. - Frange di interferenza per valori crescenti della corrente del fascio (da a) ad f)) e tempo di registrazione costante. Si osservano frange di interferenza anche con tempi molto lunghi di registrazione ed elettrone singolo passante.

cepirati dalla comunità scientifica, e la figura pubblicata sull'*Am. J. Phys.* che mostra sei fotogrammi ottenuti con flusso di elettroni crescente è stata riprodotta, a partire dal 1976, in numerosi libri di testo a livello universitario.

Confinare i risultati dell'esperimento nei pochi fotogrammi pubblicati sulle due riviste ci appariva molto riduttivo, ragion per cui abbiamo pensato di realizzare un film dove riportare tutto il materiale girato facendolo precedere da una illustrazione di fenomeni di interferenza con onde meccaniche (nei fluidi) e con onde elettromagnetiche (luce). Una serie di animazioni integrava gli schemi degli esperimenti mostrati.

È stato possibile affrontare questa impresa grazie al finanziamento reso disponibile dall'Istituto LAMEL che, nelle persone del Prof. A. Laghi, Direttore dell'Istituto e del Prof. D. Nobili, Direttore del reparto Chimico Fisico a cui afferriva uno di noi (P.G.M.), ha dimostrato una grande sensibilità ed attenzione nei confronti dei risvolti più squisitamente culturali dell'attività di ricerca. L'impresa si è comunque rivelata molto più impegnativa del previsto ed è giunta a buon fine anche grazie all'impegno del Prof. L. Morrettini, incaricato di ricerca del LAMEL, e alla importante collaborazione e supporto di D. Nobili che figurano fra gli autori del film.

Nel 1975 uno di noi (P.G.M.) ha vinto una borsa di studio della NATO per uno stage di alcuni mesi presso il Laboratorio di Microscopia Elettronica del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bristol. Il Laboratorio era diretto dal Prof. J. W. Steeds, ora Direttore del dipartimento. In quell'occasione il film fu proiettato al corpo docente del dipartimento. La presentazione e traduzione simultanea (non avevamo ancora fatto una versione in inglese) fu fatta dal Dr. A. Eades, un ricercatore del dipartimento, attualmente Professore alla Lehigh University in Pennsylvania (USA) e quest'anno presidente di *Microscopy and Microanalysis*, la Società di Microscopia Elettronica degli Stati Uniti. Il film fu molto apprezzato.

Il film, successivamente doppiato in Inglese, ha poi vinto il premio per la sezione di Fisica al Festival Internazionale del Film Scientifico di Bruxelles nel 1976. Esso, prodotto e distribuito dall'istituto LAMEL del CNR è stato diffuso in un centinaio di copie, ed è attualmente disponibile in rete al sito: <http://www.lamel.bo.cnr.it/educational/educational.html>.

Nel 1989 venne pubblicato sempre *sull'Am.*

*J. Phys.* da parte di A.Tonomura *et al.* un lavoro dal titolo: "*Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern*". Il lavoro arrivato il 17/12/87 venne accettato per la pubblicazione il 22/3/88 e direttamente pubblicato nel febbraio dell'89 senza che i censori facessero notare come in bibliografia non compariva la citazione del nostro lavoro del 1976 (peraltro pubblicato sempre sull'*Am. J. Phys.*).

Tonomura faceva invece riferimento ad un generico nostro filmato con indicazioni bibliografiche errate. Il lavoro di Tonomura apparso 13 anni dopo il nostro si candidava così ad essere presentato come il primo lavoro che riportava l'esperimento con "singolo elettrone".

Ovviamente facemmo pervenire all'Editore Prof. R. Romer una lettera di precisazione. Con molta correttezza l'Editore si dichiarò disponibile a pubblicarla: chiariva però che la stessa duplicava in parte quella inviata dal Prof. G. Gilson (Physics Department Submicron Structures, Nashua, NH, USA) e che era stata pubblicata nella rubrica "Lettere all'Editore" nel volume 8 dell'agosto 1989 dell'*Am. J. Phys.* Ci ritenemmo soddisfatti delle precisazioni presenti nella lettera di G. Gilson, consapevoli che la maggioranza degli "addetti ai lavori" conosceva le nostre pubblicazioni. Ci sbagliammo giacché ben pochi sono coloro che leggono le lettere di precisazione. Esse sono certamente sfuggite all'editore di "*Physics World*" che nell'articolo di settembre 2002 attribuisce la priorità dell'esperimento a Tonomura.

Anche in questo caso, con nostra soddisfazione, non siamo stati noi a sollevare il problema ma il Prof. J.W. Steeds che, dopo averci sentito per rinfrescarsi la memoria, ha segnalato la "svista" all'editore della rivista. Quest'ultimo, dopo numerosi controlli ha deciso con grande serietà professionale di pubblicare nel numero di maggio 2003 le lettere del Prof. Steeds, nostra e del Dr. A.Tonomura.

Una curiosità. Nella nostra lettera all'editore abbiamo concluso dicendo che l'esperimento di interferometria elettronica con singolo elettrone può essere considerato il prodotto collaterale dell'attività di ricerca sull'osservazione di microcampi elettrici e magnetici. Questa attività è estremamente attuale e con strumenti aggiornati (sia microscopi che modelli fisici) ritrova impegnati due di noi (P.G.M. e G.P.) in un progetto con finanziamento FIRB.

## SULLA SCOPERTA DELLA PROPRIETÀ DELLE SOSTANZE IDROGENATE DI ACCRESCERE LA RADIOATTIVITÀ INDOTTA DAI NEUTRONI

A. De Gregorio (\*)

Università La Sapienza di Roma

Presso la *Domus Galilæana*, a Pisa, sono conservati numerosi documenti che riguardano l'attività scientifica di Enrico Fermi fino al 1938 e che spaziano dai primissimi lavori (compreso il manoscritto della tesi di laurea) fino agli appunti che risalgono ad alcuni mesi prima della partenza per gli Stati Uniti. Si tratta di materiale che riveste grandissimo interesse per un'analisi dell'attività che egli svolse negli anni italiani.

### 1. – Le ricerche sui neutroni e la scoperta della proprietà delle sostanze idrogenate

Se si considera quanto fu intensa, dal marzo del 1934 all'ottobre dell'anno successivo e oltre, l'attività di ricerca condotta dal gruppo romano guidato da Fermi — del quale facevano anche parte Edoardo Amaldi, Oscar D'Agostino, Bruno Pontecorvo, Franco Rasetti ed Emilio Segrè —, si può facilmente comprendere quanto vasta sia la documentazione che si riferisce agli esperimenti sulla radioattività indotta dai neutroni. Nel corso delle ricerche svolte sotto la guida del professor Fabio Sebastiani per il dottorato in fisica, ho sottoposto alla verifica delle fonti documentarie le testimonianze attualmente accreditate, limitatamente alla scoperta delle proprietà delle sostanze idrogenate. Anche così, ossia a patto di circoscrivere la presente analisi a un confronto tra i racconti personali degli autori di tale scoperta e la testimonianza dei documenti d'archivio (e senza dover considerare la totalità delle ricerche sulla radioattività artificiale svolte a via Panisperna), le carte della *Domus Galilæana* suggeriscono, già a una ricognizione preliminare, conclusioni assai interessanti.

#### 1.1. – I racconti personali

Fin dal 1919 Ernest Rutherford osserva che i nuclei di azoto irradiati con particelle alfa emettono protoni e, ancora nei primissimi anni

Trenta, le disintegrazioni prodotte dalle alfa in vari elementi sono oggetto di studi approfonditi, tra gli altri da parte di James Chadwick. Il giorno prima che quest'ultimo, il 17 febbraio del 1932, annunci la *Possible Existence of a Neutron*, Norman Feather osserva alcune tracce prodotte nella camera di Wilson dalla radiazione penetrante del berillio, correttamente interpretate la seguente settimana come disintegrazioni di nuclei di azoto provocate da neutroni. Annunciata da Rutherford alla *Royal Society* il 18 marzo, a maggio la scoperta di Feather è pubblicata sui *Proceedings* <sup>(1)</sup>. All'epoca erano disponibili soltanto sorgenti piuttosto deboli (il berillio irradiato con particelle alfa fornisce un flusso di neutroni circa 100 000 volte meno intenso di quello delle alfa incidenti), ma in compenso, come osserva lo stesso Feather, il rapporto tra il numero di disintegrazioni prodotte e il numero di urti elastici è di gran lunga superiore (di circa trecento volte) nel caso dei neutroni piuttosto che in quello delle particelle alfa.

Nel gennaio del 1934, dopo aver dibattuto le prime avvisaglie della scoperta già al VII Congresso Solvay il precedente ottobre, Frédéric Joliot e Irène Curie dimostrano che le particelle alfa sono in grado di rendere radioattivi i nuclei di alcuni elementi leggeri (i primi ad essere attivati sono boro, magnesio e alluminio). Essi stessi concludono che analoghe disintegrazioni potrebbero essere ottenute anche mediante altri tipi di particelle. A questo punto Fermi intuisce che, mediante i neutroni, oltre a ottenere le disintegrazioni osservate da Feather è possibile generare artificialmente elementi radioattivi; grazie alla loro neutralità elettrica, tali particelle presentano peraltro il notevole vantaggio di permettere l'attivazione anche di nuclei pesanti. Il 25 marzo 1934 Fermi dà l'annuncio dell'avvenuta scoperta in una breve comunicazione dal titolo: *Radioattività indotta da bombardamento di neutroni* <sup>(2)</sup>. A partire da questo momento il gruppo di via Panisperna compie un'indagine sistematica che lo porta infine a occuparsi dell'uranio (e gli studi su questo elemento inducono, pur se tra mille cautele, Fermi e collaboratori a credere di aver scoperto due elementi transuranici); a questo proposito può essere interessante aggiungere che dai documenti pisani emerge, che fin dal maggio del 1934 a via Panisperna era invalso l'uso di indicare l'elemento di numero atomico 93, l'ausonio, come "Ao", mentre all'esperio (l'altro presunto transuranico) fu riservato il simbolo "Hs".

(\*) Dottorato di ricerca in fisica

Ben presto, secondo quanto ricordato da Amaldi e Segrè<sup>(3)</sup>, si presenta l'esigenza di quantificare meglio l'attività indotta, rispetto alla generica classificazione in «debole», «media» e «forte» fino ad allora adottata. Si sceglie come attività campione quella con tempo di dimezzamento di circa due minuti indotta nell'argento; ci si accorge allora dell'influenza dell'ambiente circostante sull'attivazione e si decide di chiarire meglio la questione ponendo un po' di piombo in vicinanza della sorgente e del campione irradiato (in particolare usandolo anche come schermo interposto tra i due).

Nel 1984 Amaldi ricorda: «On the morning of October 22nd most of us were busy doing examinations and Fermi decided to proceed in making the measurements». Tuttavia, sempre secondo Amaldi, Fermi decise improvvisamente di usare al posto di un cuneo di piombo un pezzo di paraffina per filtrare i neutroni e il risultato inaspettato fu un aumento della radioattività indotta. Fermi attribuì prontamente il fenomeno alla maggiore efficacia dei neutroni rallentati da sostanze idrogenate. «The same afternoon the experiment was repeated in the pool of the fountain in the garden of the Institute. [...] The evening of October 22nd all the group came to my house and a letter announcing our results was written to *La Ricerca Scientifica*»<sup>(4)</sup>.

Il resoconto di Amaldi non lascia dubbi sul fatto che tutto, dalla scoperta degli effetti della paraffina, agli esperimenti nell'acqua, fino alla loro interpretazione e alla stesura stessa dell'articolo per *La Ricerca Scientifica*, sia avvenuto il medesimo giorno, più precisamente lunedì 22 ottobre 1934.

Prima di Amaldi nel 1970 Segrè si era così espresso: «[...] si preparò un cuneo di piombo [...] ma, improvvisamente, Fermi decise di provare elementi leggeri prima [...]. È assai difficile dopo tanti anni ricordare precisamente cosa sia accaduto, ma non c'è dubbio che usammo per la prima volta la paraffina, come assorbitore, la mattina del 22 ottobre 1934»<sup>(5)</sup>. *Usammo la paraffina il 22 ottobre...*

Fin dal 1955, ventuno anni dopo i fatti narrati, Persico aveva affermato che la mattina del 22 ottobre 1934 il gruppo s'accorse che la radioattività indotta in un bersaglio di argento aumentava notevolmente se nelle vicinanze si trovava un pezzo di paraffina<sup>(6)</sup>; anche Pontecorvo (che si era unito al gruppo a settembre del 1934, subito dopo essersi laureato) nel 1972 ricorda che «la mattina del 22 ottobre 1934 Fermi decise

di misurare la radioattività del cilindro d'argento 'facendo passare' i neutroni dalla sorgente attraverso un cuneo non di piombo, ma di paraffina che lui stesso aveva in fretta approntato»<sup>(7)</sup>.

La laconica versione di Rasetti nel 1968 è: «Nell'autunno [del 1934] si aggiunse al nostro gruppo Pontecorvo, e tosto scoprimmo gli effetti sorprendenti che certe sostanze, l'acqua e la paraffina, producevano nell'intensificare la radioattività indotta quando si trovassero nelle vicinanze della sorgente di neutroni e dell'elemento bombardato. Non passò un giorno che Fermi aveva già trovato la spiegazione di questi effetti paradossali nel rallentamento che i neutroni subiscono urtando più volte contro i nuclei di idrogeno contenuti nell'acqua o simili sostanze»<sup>(8)</sup>.

La testimonianza di Laura Capon, contenuta nella biografia del marito pubblicata nel 1954, è la prima in ordine cronologico tra tutte quelle qui riportate: «Una lastra di piombo faceva aumentare leggermente la radioattività. [...] "Vediamo che cosa succede con una sostanza leggera" disse Fermi "per esempio con la paraffina". L'esperimento con la paraffina fu compiuto la mattina del 22 ottobre»<sup>(9)</sup>.

Ogni versione ha sfumature diverse, ma se si esclude quella di Rasetti, che non dà alcuna indicazione della data, tutte sono inequivocabilmente concordi nell'indicare nel 22 ottobre il giorno in cui Fermi usò la paraffina.

A porsi fuori dal coro rispetto agli altri testimoni è nel 1958 il chimico del gruppo, Oscar D'Agostino, che in una controversa ricostruzione degli eventi ricorda che Fermi poté scoprire l'effetto delle sostanze idrogenate grazie non alla paraffina, ma a un secchio d'acqua lasciato di nascosto dalla donna delle pulizie sotto il bancone usato da Pontecorvo: «Sì, era vero: l'attività dell'argento radioattivo variava a seconda che nel secchio c'era o non c'era l'acqua. Palesemente eccitato Fermi suggerì ancora: "Proviamo a immergere l'argento in una grande quantità d'acqua!". Era lì a portata di mano la fontana del giardino [...], in un cortile interno dell'Istituto. Erano le ore 15 del 22 ottobre. [...] L'acqua moltiplicava la radioattività dell'argento di un fattore assai grande»<sup>(10)</sup>.

Persino D'Agostino, che pure fornisce un ricordo del tutto dissonante rispetto agli altri, sostiene che si trattò del 22 ottobre. Eppure, nel seguito del racconto, compare un dettaglio incompatibile con tale data: D'Agostino afferma infatti di aver proposto personalmente di bre-

vettare la scoperta, tra lo scetticismo di parte del gruppo; per volontà di Fermi la questione fu però rimessa al direttore dell'Istituto, Orso Mario Corbino. «Ricordo anche che queste nostre discussioni avvennero di sabato. Il senatore Corbino era fuori Roma e sarebbe tornato soltanto due giorni dopo. Così ogni decisione fu rimandata al lunedì»<sup>(11)</sup>. La «Lettera di incarico» con la quale fu presentata richiesta di brevetto n. 324458 è datata 26 ottobre 1934, un venerdì<sup>(12)</sup>; se ci atteniamo a questo episodio riferito da D'Agostino, la scoperta dell'effetto delle sostanze idrogenate dev'essere quindi avvenuta non oltre sabato 20 ottobre.

Nonostante le differenze più o meno accentuate tra le varie versioni, l'accordo sulla data dichiarata è totale; al punto da apparire sospetto: è mai possibile che tutti (eccetto forse Rasetti e nonostante l'incongruenza nel racconto di D'Agostino) rammentassero esattamente il giorno in cui Fermi scoprì l'effetto delle sostanze idrogenate, sebbene fosse «assai difficile dopo tanti anni ricordare precisamente cosa sia accaduto», e abbiano inoltre ritenuto necessario specificare tale data, nonostante Fermi stesso, nella prima versione a noi nota (riferita tra l'autunno del 1952 e la primavera successiva a Subrahmanyan Chandrasekhar<sup>(13)</sup>), non fece apparentemente menzione alcuna del 22 ottobre? La questione assume particolare rilevanza alla luce dei documenti conservati presso la *Domus Galilæana*.

### 1.2. – Le fonti d'archivio

Amaldi ricorda esplicitamente che i risultati dei primi esperimenti con la paraffina furono annotati nel quaderno *B.1*, attualmente conservato a Pisa. Nelle primissime pagine sono riportate le misure ottenute in presenza del «castelletto», costituito di mattoncini di piombo e usato per valutare gli effetti dell'ambiente sull'attivazione dell'argento. A partire da pagina 8 è studiato l'effetto della paraffina su tale attivazione; tuttavia, in cima alla pagina, è indicata a chiare lettere la data del 20 ottobre 1934 (fig. 1).

Si potrebbe pensare a un errore, ma altri documenti confermano che si trattò effettivamente del 20 ottobre, e peraltro forniscono ulteriori dettagli interessanti.

Nel raccoglitore *R.6* sono conservati numerosi grafici e quasi novanta verbali, ossia schede di laboratorio, che riportano i risultati degli

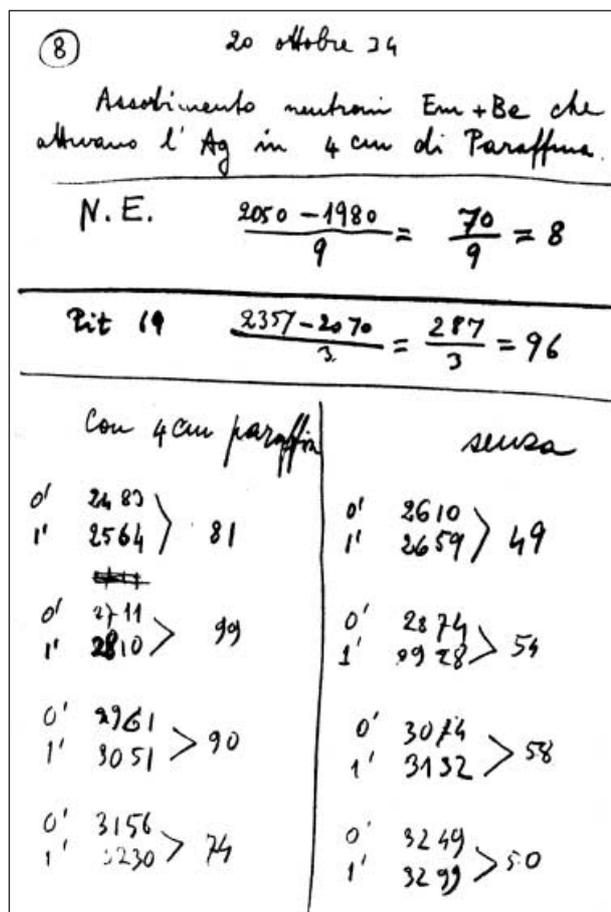


Fig. 1. – La pagina 8 del quaderno *B.1*, datata 20 ottobre 1934.

esperimenti condotti a partire dall'ottobre 1934 (le schede che saranno citate nel seguito sono conservate presso la *Domus Galilæana* all'interno del raccoglitore *R.6* e non sono numerate). Da una di queste schede, datata 21 ottobre 1934, risulta che dalle ore 20 di sabato 20 ottobre alle 9.30 di domenica 21 si sottopone a irraggiamento di neutroni il cesio immerso in acqua, del quale si misura poi la radioattività indotta; è riportato anche il numero della sorgente di neutroni utilizzata (del tipo radon-berillio): la n. 16. Da un'altra scheda risulta che sempre dalle 20 del 20 ottobre alle 9.30 della mattina successiva è irradiato il nitrato di rubidio ( $\text{RbNO}_3$ ); sebbene il numero della sorgente non sia specificato, la coincidenza di orari lascia supporre che l'irraggiamento avvenga insieme a quello del cesio, con la n. 16.

Il cesio fu quindi irradiato mentre era immerso in acqua sin dalla sera del 20 ottobre; lo stesso giorno in cui, secondo quanto riportato sul quaderno *B.1*, era stato condotto l'esperimento con la paraffina.

	14	15	16	17	18
1-X	285				
2	240				
3	200				
4	168				
5	140				
6	117				
7	97				
8	82	215			
9	68	180			
10		150			
11		125			
12		105			
13		88			
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22				430	
23				350	
24				290	
25				240	
26				200	
27				170	
28				140	
29				120	365
30					305
31					255

	18	19	20	21
1-XI	215			
2	180			
3	150			
4	125			
5	105			
6	88	750		
7	73	630		
8	61	525		
9	51	440		
10	43	365		
11	36	305		
12	30	255		
13	25	215	745	
14		175	625	
15		146	525	
16		123	440	
17		103	372	
18		86	312	624
19		72	260	520
20		60	220	440
21			185	370
22			155	310
23			131	262
24			110	220
25			92	184
26			78	
27			65	

Fig. 2. - Facsimile del registro delle sorgenti, per i mesi di ottobre e novembre 1934: in ogni colonna sono riportati il numero e l'attività di ciascuna sorgente.

È possibile avere un riscontro approssimativo della data mediante il numero della sorgente utilizzata. Nel registro *R.9* sono infatti anche riportate giorno per giorno le attività delle varie

sorgenti usate negli esperimenti con i neutroni (attività che decadono secondo una legge esponenziale, con tempo di dimezzamento di circa quattro giorni). Purtroppo gli unici dati

che mancano sono proprio quelli relativi alla sorgente n. 16 (forse perché il gruppo di Fermi era completamente assorbito dagli esperimenti veri e propri, in quei giorni); ma l'inconveniente non è grave, in quanto le sorgenti sono numerate progressivamente, secondo un ordine cronologico: basandoci semplicemente sulle date in cui furono approntate tutte le altre, si può concludere con ampio margine di sicurezza che la sorgente n. 16 poté essere usata dal gruppo a partire da circa metà ottobre 1934 (fig. 2). In altre parole, sebbene non sia possibile ricostruire giorno per giorno l'attività della sorgente che fu usata per irradiare il cesio, si ha tuttavia conferma indiretta dal registro *R.9* che la n. 16 assicurò un flusso utile di neutroni proprio a cavallo del 20 ottobre; a conferma dell'attendibilità della data indicata sulla scheda del cesio (e così da escludere, tanto per fare un esempio, che si trattasse del 20 novembre 1934, quando ad avere una attività adeguata alle esigenze sperimentali erano rimaste soltanto la sorgente n. 19 (60 mCi), la n. 20 (220 mCi) e la n. 21 (440 mCi)).

Proseguendo nell'analisi delle schede contenute nel raccogliatore *R.6*, il 21 ottobre troviamo l'alluminio «irradiato in H<sub>2</sub>O a 10 cm per 2'». A partire dalle ore 20 di domenica 21, sono irradiate in acqua altre sostanze: il carbonato di sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) fino alle 9.45 di lunedì 22; l'idrossido di litio (LiOH, che non sembra attivarsi) fino alle 10; il platino fino alle 10.30 (vedi fig. 3); il rutenio e lo stronzio fino alle 12. In ciascun caso è detto esplicitamente che l'irradiazione è avvenuta in acqua e che la sorgente di neutroni utilizzata è la n. 16 (il che fa peraltro pensare che, essendo unica la sorgente, i campioni si trovassero immersi in acqua uno accanto all'altro). Mediante la sorgente n. 16, lunedì 22 ottobre sono anche irradiati «in H<sub>2</sub>O Pb metallico» (dalle 13 alle 15) e l'antimonio metallico «in provetta in H<sub>2</sub>O» (dalle 13 alle 16.20).

Il 20 ottobre risultano irradiati anche il fluoruro di calcio (CaF<sub>2</sub>, peraltro già ampiamente studiato nei mesi precedenti), apparentemente in assenza di acqua, e dalle 13 alle 14 lo ioduro d'ammonio (NH<sub>4</sub>I), in una pro-

Sostanza: <u>Pt</u>	
Data: <u>22.10.34</u>	Ora d'inizio: _____
Irradiata dalle <u>20 del 21</u>	alle <u>10,30 del 22</u> Sorgente <u>16</u> ME
Condizioni irradiazione: <u>in lamina in H<sub>2</sub>O</u>	
Operazioni chimiche: _____	
Apparecchio _____	Contatore <u>2</u>
Spessori assorbimento: _____	
Effetti zero	
Prima con sost. _____ =	Prima senza sost. <u>7-8</u> =
Dopo " " _____ =	Dopo " " _____ =

Fig. 3. - *Recto* della scheda relativa al platino irradiato, assieme ad altri campioni, in acqua durante la notte tra il 21 e il 22 ottobre.

vetta contenente acqua. Tuttavia, poiché non è specificato il numero della sorgente utilizzata, non si può fare completo affidamento sull'attendibilità della data; d'altra parte risulterebbero irradiati in acqua anche il nitrato di ammonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) il 15 ottobre e il carbonato di potassio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) il 16 ottobre, ma si tratta di date evidentemente errate perché le sorgenti utilizzate sono la n. 19 e la n. 20, che saranno attive a partire da metà novembre successivo.

2. - Conclusioni

Siamo portati così a concludere che gli esperimenti con la paraffina furono effettuati il 20 ottobre 1934, e non il 22 ottobre come creduto finora, e che successivamente, a partire dalla sera di quel 20 ottobre, si lasciarono alcuni campioni immersi in acqua per essere irradiati tutta la notte seguente, per poi ripetere la medesima procedura tra il 21 e il 22 ottobre (in una singolare analogia con il racconto di D'Agostino,

Sostanza:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  Pit 409

Data: 20. XI. 34 Ora d'inizio: \_\_\_\_\_

Irradiata dalle 120'' alle \_\_\_\_\_ Sorgente 20 ME

Condizioni irradiazione: \_\_\_\_\_

Prove di opacità standard  
in aria (flottante) e in blocco paraffina

Operazioni chimiche: Appettonolo 25'' a contore.

Apparecchio \_\_\_\_\_ Contatore 3

Spessori assorbimento: \_\_\_\_\_

Effetti zero

Prima con sost. 8 = Prima senza sost. 8 =

Dopo " " \_\_\_\_\_ = Dopo " " \_\_\_\_\_ =

OSSERVAZIONI

Le misure fatte, senza  
sbagli geometrici, sono quelle  
del 21.10.34.

Fig. 4. - La verifica, a novembre mediante la paraffina, di alcuni risultati ottenuti il 21 ottobre.

secondo il quale il secchio d'acqua lasciato dall'addetta alle pulizie era «messo alla sera e ritirato poi al mattino»). I documenti conservati presso la *Domus Galilæana* contrastano quindi con le dichiarazioni dei collaboratori e della moglie di Fermi.

Una possibile riprova di quanto sostenuto è annotata su una scheda del 20 novembre 1934 contenuta nel raccogliatore *R.1*, nella quale nel riportare alcuni risultati sul carbonato di sodio (irradiato alternativamente in aria e in paraffina — mediante la sorgente no. 20) si osserva che «le misure giusti [sic], senza sba-gli geometrici, sono quelle del 21.10.34» (vedi fig. 4).

Si obietterà forse che abbiamo ben sei testimonianze concordi sulla data del 22 ottobre. Tuttavia, se è vero che è stato un intero gruppo di persone a ricostruire quegli eventi, è altrettanto vero che gli esperimenti erano stati condotti, e le misure registrate, sotto gli occhi di quel medesimo gruppo. Non c'è ragione di credere che abbiano tutti sbagliato nell'annotare sulle schede e sul quaderno la data del 20 ottobre e poi quella del 21 (pur se qualche imprecisione effettivamente si riscontra altrove) e non abbiano commesso alcuno sbaglio decenni dopo nell'indicare la data del 22 ottobre. È quanto mai plausibile, piuttosto, che l'errore sia stato fatto la prima volta nella biografia scritta da Laura Fermi nel 1954 e da lì si sia poi 'propagato' attraverso la testimonianza di Persico e via via quelle di tutti gli altri (ciò, peraltro, ben spiegherebbe le incongruenze nel racconto di D'Agostino).

La differenza di due giorni nella datazione degli eventi non è importante tanto in sé, quanto per l'indicazione che le testimonianze finora accreditate sugli esperimenti condotti a via Panisperna vanno vagliate con grande attenzione attraverso il riscontro con i documenti d'archivio, persino là dove tutte trovano piena convergenza. Ogni futura indagine storica sul-

l'attività sperimentale svolta sui neutroni da Fermi e dal suo gruppo non potrà prescindere da una simile verifica.

#### Bibliografia

- (1) N. FEATHER, *Collisions of Neutrons with Nitrogen Nuclei*, *Proc. R. Soc.*, **134** (1932) 709-727.
- (2) E. FERMI, *Radioattività indotta da bombardamento di neutroni*, *La Ricerca Scientifica*, **5**, No. 1 (1934) 283; in E. FERMI, *Note e memorie (Collected Papers)*, a cura di E. AMALDI et al. 2 voll. (Accademia Nazionale dei Lincei, Roma - The University of Chicago Press, Chicago) 1962-1965; vol. I, pp. 645-646. Per un resoconto più ampio delle testimonianze sulle ricerche svolte a via Panisperna sui neutroni, si vedano per esempio L. CARBONARI e F. SEBASTIANI, *La scoperta dell'azione di sostanze idrogenate sulla radioattività provocata da neutroni: nota in margine al ritrovamento di un cimelio fermiano*, in corso di pubblicazione su *Physis*, e F. CORDELLA et al., *Enrico Fermi. Gli anni italiani* (Roma, Editori Riuniti) 2001.
- (3) E. AMALDI, *From the Discovery of the Neutron to the Discovery of Nuclear Fission*, *Phys. Rep.*, **111** (1984) 151-152; la versione di Segrè compare nell'introduzione agli articoli sulla radioattività artificiale in E. FERMI, *Note e memorie*, cit., vol. I, pp. 641-642.
- (4) E. AMALDI, *From the Discovery of the Neutron*, cit., pp. 152-154.
- (5) E. SEGRÈ, *Enrico Fermi, Physicist*, (The University of Chicago Press) 1970, p. 80 [*Enrico Fermi, fisico* (Zanichelli, Bologna) 1987, p. 82]. La versione in inglese recita: «[...] there is no doubt that paraffin was used first on the morning of October 22<sup>nd</sup>».
- (6) E. PERSICO, *Souvenir de Enrico Fermi*, *Scientia*, **XC** (1955) 319-320.
- (7) B.M. PONTECORVO, V.N. POKROVSKIJ, *Enrico Fermi v vospominanijakh uchenikov i druzej* (Nauka, Moskva) 1972 (trad. it. B. PONTECORVO, *Enrico Fermi* (Edizioni Studio Tesi, Pordenone) 1972, pp. 81-82).
- (8) F. RASETTI, *Enrico Fermi e la fisica italiana*, in *Celebrazioni Lincee in ricordo di Enrico Fermi* (Accademia Nazionale dei Lincei, Roma) 1968, pp. 13-14.
- (9) L. FERMI, *Atomi in famiglia*, trad. it. (Mondadori, Verona) 1954; ristampa anastatica a cura dell'Associazione per l'insegnamento della Fisica, supplemento a *La Fisica nella scuola*, **XXXIV**, No. 3 (2001) 107-108.
- (10) O. D'AGOSTINO, *L'era atomica incominciò a Roma nel 1934*, 2<sup>a</sup> puntata, *Candido*, anno XVI n. 24, 15 giugno 1958, pp. 24-25.
- (11) O. D'AGOSTINO, *L'era atomica incominciò a Roma nel 1934*, 3<sup>a</sup> puntata, *Candido*, anno XVI n. 25, 22 giugno 1958, p. 21.
- (12) Copia della lettera è consultabile presso il sito Web del museo del Dipartimento di fisica dell'Università *La Sapienza*: [www.phys.uniroma1.it/DOCS/MUSEO/home.htm](http://www.phys.uniroma1.it/DOCS/MUSEO/home.htm).
- (13) La testimonianza di Fermi è stata raccolta da Chandrasekhar e da questi riportata in E. FERMI, *Note e memorie (Collected Papers)*, cit., vol. II, pp. 926-927.

**Ultimi volumi usciti nella collana  
Proceedings of International School "Enrico Fermi"**

**CORSO CL  
ELECTRON AND PHOTON CONFINEMENT IN SEMICONDUCTOR  
NANOSTRUCTURES**

**edited by B. Deveaud, A. Quattropani and P. Schwendimann**  
pp 440 , Euro 150,00 - SOCI SIF Euro 105,00

**CORSO CLIII  
FROM NUCLEI AND THEIR CONSTITUENTS TO STARS**  
**edited by A. Molinari, L. Riccati, W.M. Alberico and M. Morando**  
pp 696 , Euro 182,00 - SOCI SIF Euro 127,40

*Volumi in corso di stampa*

**CORSO CLI  
QUANTUM PHENOMENA IN MESOSCOPIC SYSTEMS**  
**edited by B. Altshuler, V. Tognetti and A. Tagliacozzo**  
pp 460, Euro 155,00 - SOCI SIF Euro 108.50

**CORSO CLII  
NEUTRINO PHYSICS**  
**edited by E. Bellotti, Y. Declais, P. Strolin and L. Zanotti**  
pp 320, Euro 120,00 - SOCI SIF Euro 84,00

**Ultimi volumi usciti nella collana "Conference Proceedings"**

**Vol. 81 - THE IMPACT OF LARGE ANTENNAS ON RADIOASTRONOMY  
AND SPACE SCIENCE**

**edited by N. Damico, F. Fusi Pecci, I. Porceddu and G. Tofani**  
pp. 240, Euro 48,00 - SOCI SIF Euro 38,40

**Vol. 82 - SYNCHROTRON RADIATION: FUNDAMENTALS,  
METHODOLOGIES AND APPLICATIONS**

**edited by S. Mobilio and G. Vlaic**  
pp 814, Euro 120,00 - SOCI SIF Euro 96,00

**Vol. 83 - PROCEEDINGS OF THE XIV IFAE - ITALIAN MEETING ON  
HIGH ENERGY PHYSICS**

**edited by M. Cacciari, F. Fabbri and L. Trentadue**  
pp 390, Euro 68,00 - SOCI SIF Euro 54,40

Inviare ordini a:  
Redazione del Nuovo Cimento  
Attn: Carmen Vasini  
Via Saragozza, 12 - 40123 Bologna  
Tel. 051 581569 Fax 051 581340 e-mail: vasini@sif.it

# SCIENZA IN PRIMO PIANO

## LE OSCILLAZIONI DEL NEUTRINO

S. M. Bilenky<sup>1,2</sup>, P. Galeotti<sup>3</sup>, G. Piragino<sup>1,3</sup>,  
G. Pontecorvo<sup>1,3</sup>

<sup>(1)</sup> *Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

<sup>(2)</sup> *Dipartimento di Fisica Teorica e Sezione INFN, Università di Torino, Torino, Italy*

<sup>(3)</sup> *Dipartimento di Fisica Generale e Sezione INFN, Università di Torino, Torino, Italy*

### 1. – Introduzione

Una delle più importanti scoperte nella fisica delle particelle è quella delle oscillazioni del neutrino, fenomeno previsto da B. Pontecorvo<sup>1</sup> più di 40 anni fa<sup>(1)</sup>, ma scoperto solo recentemente in esperimenti molto particolari e difficili. In questa nota discuteremo il fenomeno delle oscillazioni del neutrino, gli esperimenti in cui le oscillazioni sono state scoperte e cosa questa scoperta implichi per la fisica delle particelle e l'astrofisica.

In natura esistono 3 famiglie di fermioni fondamentali, particelle con spin (momento angolare proprio)  $1/2$ . In ogni famiglia ci sono 4 particelle: quark con carica elettrica  $2/3$  e  $-1/3$ , leptoni con carica elettrica  $-1$  e neutrini con carica elettrica  $0$  (tutte le cariche sono espresse in unità di carica elettrica del protone). Le particelle della seconda famiglia hanno massa maggiore delle corrispondenti particelle della prima famiglia, e quelle della terza famiglia hanno massa ancora più grande.

I quark interagiscono tra loro mediante interazioni forti con scambio di particelle prive di massa dette gluoni. Un gran numero di parti-

celle, i cosiddetti adroni, ossia protoni, neutroni, pioni, kaoni e altre, sono stati legati di quark. Secondo le moderne teorie di fisica delle particelle i quark e i gluoni in condizioni ordinarie non possono esistere allo stato libero.

In questo lavoro siamo interessati ai leptoni, in particolare ai neutrini. Alla prima famiglia leptonica appartengono l'elettrone  $e$ , particella con massa<sup>2</sup>  $\sim 0,5$  MeV e il neutrino elettronico  $\nu_e$ ; alla seconda famiglia appartengono il muone  $\mu$ , particella di massa  $\sim 105$  MeV, e il neutrino muonico  $\nu_\mu$  mentre alla terza famiglia appartengono il tau  $\tau$ , la cui massa è  $\sim 1780$  MeV e il corrispondente neutrino tauonico  $\nu_\tau$ .

I neutrini, e i leptoni in genere, interagiscono mediante scambio di bosoni vettoriali, particelle con spin uguale a 1. In natura esistono 4 bosoni vettoriali: due carichi  $W^+$  e  $W^-$  e due neutri  $Z^0$  e il fotone  $\gamma$ ; quest'ultimo interagisce con particelle cariche. I neutrini non hanno carica elettrica e interagiscono con la materia solo mediante lo scambio di bosoni  $W^\pm$  e  $Z^0$  virtuali, che sono particelle molto pesanti ( $m_W \sim 80$  GeV e  $m_Z \sim 91$  GeV). Questo è il motivo principale per cui le interazioni dei neutrini con la materia sono estremamente deboli; per esempio il libero cammino medio dei neutrini di energia di alcuni MeV è circa  $10^{14}$  km di materia terrestre.

I neutrini, come i leptoni carichi, possiedono una carica (numero) leptonica di famiglia:  $L_e$ ,  $L_\mu$ ,  $L_\tau$  che contraddistingue i  $\nu_e$  dai  $\nu_\mu$  e dai  $\nu_\tau$ , come indicato in tabella I dove sono riportati i numeri leptonici delle particelle elementari.

Ad ogni particella dotata di carica elettrica corrisponde un'antiparticella, con ugual massa e spin ma carica opposta. L'antiparticella dell'elettrone è il positrone  $e^+$ , le altre coppie lep-

<sup>1</sup> B. Pontecorvo, nato a Marina di Pisa nel 1913, lavorò dal 1933 al 1936 nel gruppo di Fermi a Roma in via Panisperna. In seguito ha lavorato in molte nazioni: Francia, USA, Canada, Gran Bretagna e Russia, ove morì nel 1993 a Dubna.

<sup>2</sup> Le masse delle particelle sono di solito espresse in termini di energia equivalente ( $mc^2$ ); 1 elettronvolt (eV) è l'energia acquistata da un elettrone accelerato da un potenziale elettrico di 1 V. (1 MeV =  $10^6$  eV, 1 GeV =  $10^9$  eV).

**Tabella I. – Numeri leptonici delle particelle.**

Numero leptonico	$\nu_e, e^-$	$\nu_\mu, \mu^-$	$\nu_\tau, \tau^-$	p, n, $\gamma$ , ...
0				
$L_e$	1	0	0	0
$L_\mu$	0	1	0	0
$L_\tau$	0	0	1	0

toniche particella-antiparticella sono  $\mu^+\mu^-$ ,  $\tau^+\tau^-$ . I numeri di famiglia leptonica per le antiparticelle ( $e^+$ ,  $\mu^+$ ,  $\tau^+$ ) e per gli antineutrini ( $\bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau$ ) sono opposti a quelli delle corrispondenti particelle.

In tutti i processi deboli il numero totale elettronico, quello muonico e quello tauonico si conservano separatamente. Per esempio nel decadimento  $\pi^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$  insieme al (anti)muone  $\mu^+$  si genera un neutrino muonico  $\nu_\mu$ ; nel decadimento del neutrone  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$  un antineutrino elettronico viene generato insieme all'elettrone; un neutrino muonico  $\nu_\mu$  può produrre solo  $\mu^-$  (per es.  $\nu_\mu N \rightarrow \mu^- X$ ). Nel 1958 Bruno Pontecorvo rivolse la sua attenzione al fatto che i dati sperimentali non escludono che esista un'interazione tra neutrini che non conservi il numero leptonico di famiglia e sia sostanzialmente connessa al fatto che i neutrini abbiano massa diversa da zero, anche se molto piccola.

Il problema della massa del neutrino ha una storia molto lunga. Nel 1957, poco dopo la scoperta della violazione di parità nel decadimento  $\beta$ , Landau, Lee e Young e Salam proposero la teoria a due componenti dei neutrini, basata sull'ipotesi che queste particelle siano prive di massa. Questa ipotesi era compatibile con il limite superiore alla massa del neutrino esistente a quel tempo:  $m < 200$  eV. Secondo la teoria del neutrino a due componenti, i neutrini hanno elicità  $-1$  e gli antineutrini  $+1$  (l'elicità è la proiezione dello spin sull'impulso). Nel 1958 Goldhaber *et al.*, misurarono l'elicità del neutrino e constatarono che questi sono preminentemente particelle sinistrorse.

Sempre nel 1958, poco dopo la formulazione della teoria del neutrino a due componenti ed i risultati di Goldhaber *et al.*, Bruno Pontecorvo sostenne che non esistono principi (come l'invarianza di gauge nel caso dei fotoni) che impongono ai neutrini di essere particelle prive di massa. Pontecorvo notò che, se i neutrini hanno una massa, anche se piccolissima e se le interazioni tra loro non conservano i numeri leptonici,

allora gli stati di neutrini e antineutrini, prodotti nei decadimenti  $\beta$  o in altri decadimenti deboli, possono essere descritti dalla sovrapposizione coerente (*miscela*) di stati di neutrini di massa definita. In questo caso, secondo la meccanica quantistica, un fascio, per esempio di  $\bar{\nu}_e$  prodotti in un reattore, ad una certa distanza dal reattore sarà descritto da una sovrapposizione coerente di tutti gli stati possibili. La probabilità di transizione dallo stato iniziale di soli  $\bar{\nu}_e$  in un altro stato neutrino dipende periodicamente dalla distanza; inoltre le probabilità di transizione dallo stato iniziale ad un qualsiasi stato finale sono normalizzate a uno. Quindi, se vengono rivelati antineutrini elettronici ad una certa distanza dal reattore che li ha prodotti, il numero di eventi osservati deve essere inferiore a quello previsto. Come vedremo tra poco, questo effetto è stato recentemente osservato in un esperimento con reattori in Giappone.

Nel 1958 solo i neutrini elettronici erano noti. Pontecorvo a quel tempo considerò la transizione da neutrini elettronici sinistrorsi a neutrini elettronici destrorsi, particelle che non interagiscono con la materia e che perciò furono detti sterili. Nel 1962 in un esperimento con l'acceleratore di Brookhaven fu scoperto il secondo neutrino, quello muonico  $\nu_\mu$ . Nel 1967 Pontecorvo<sup>(2)</sup> generalizzò la sua idea di oscillazioni di neutrino al caso di neutrini dei due tipi  $\nu_e$  e  $\nu_\mu$ .<sup>3</sup> Egli considerò le oscillazioni dei neutrini solari e prevede che, a causa della trasformazione dei neutrini  $\nu_e$  prodotti nel Sole in neutrini  $\nu_\mu$ , il flusso a Terra dei  $\nu_e$  solari dovrebbe essere circa la metà di quello previsto dai modelli. Questa previsione fu fatta prima che venissero ottenuti i risultati del primo esperimento sui neutrini solari. Come vedremo tra poco, l'effetto previsto fu effettivamente osservato.

## 2. – Oscillazioni del neutrino

Nel caso di due neutrini, diciamo  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$ , la probabilità di transizione  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  è data dall'e-

<sup>3</sup> Nel 1962 Maki, Nakagawa and Sakata (MNS) fecero l'ipotesi che i neutrini avessero una massa non nulla e che i campi di  $\nu_e$  e  $\nu_\mu$  fossero una miscela dei campi di neutrini massivi. Essi considerarono "trasformazioni virtuali" di  $\nu_\mu$  in  $\nu_e$  dovute a un'interazione con un'ipotetica particella pesante. Nel lavoro non fu però considerato il fenomeno delle oscillazioni del neutrino, basato sulla meccanica quantistica di sistemi misti.

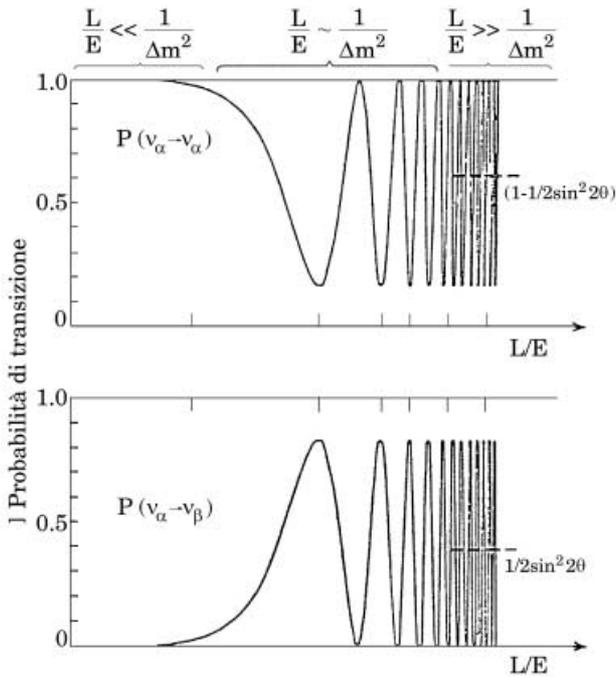


Fig. 1. – Probabilità di oscillazione dei neutrini in funzione del rapporto  $L/E$ .

spressione

$$(1) \quad P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \frac{1}{2} \sin^2 2\theta (1 - \cos \Delta m^2 L / 2E),$$

dove  $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$  è la differenza quadratica tra le masse dei neutrini,  $\theta$  è l'angolo di *mixing*,  $L$  è la distanza tra sorgente e rivelatore di neutrini in metri ed  $E$  è l'energia dei neutrini in MeV. La probabilità di sopravvivenza dei  $\nu_\mu$  è data da

$$(2) \quad P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau).$$

Dalla (1) segue che l'ampiezza delle oscillazioni è data da  $\sin^2 2\theta$ , e la lunghezza di oscillazione (periodo delle oscillazioni) è

$$(3) \quad L_0 \sim 2,48 E / \Delta m^2 \text{ m.}$$

Il fenomeno descritto dalle formule (1), (2) e (3) è detto delle oscillazioni del neutrino. Se si assume  $\sin^2 2\theta = 1$ , allora alla distanza  $L_a = 1,24 E / \Delta m^2$  m tutti gli stati iniziali  $\nu_\mu$  si sono trasformati in  $\nu_\tau$ , mentre per  $0 < L < L_a$  sia i  $\nu_\mu$  che i  $\nu_\tau$  possono essere osservati. Se la distanza  $L$  è molto più piccola della lunghezza di oscillazione  $L_0$ , le oscillazioni del neutrino non hanno tempo per svilupparsi: solo i  $\nu_\mu$  possono essere osservati (vedi fig. 1). Invece, se  $L$  è molto più grande di  $L_0$  solo l'effetto medio delle oscillazioni può essere osservato, ossia  $\langle P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \rangle = \frac{1}{2} \sin^2 2\theta$  oppure  $\langle P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) \rangle = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 2\theta$ .

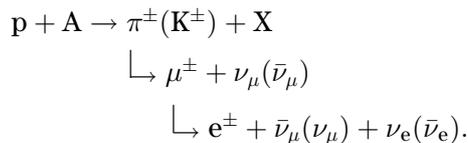
La lunghezza di oscillazione si può calcolare<sup>(3)</sup> per diverse sorgenti di neutrini: per neutrini muonici prodotti negli acceleratori con energia  $\sim 20$  MeV,  $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$  e  $L \sim 50$  m; per neutrini muonici atmosferici di energia  $\sim 1$  GeV,  $\Delta m^2 \sim 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$  e  $L \sim 10^3$  km; per antineutrini elettronici prodotti nei reattori con energia  $\sim 3$  MeV,  $\Delta m^2 \sim 5 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$  e  $L \sim 150$  km, ecc.

### 3. – Dati sperimentali

Discutiamo ora le recenti evidenze sperimentali a favore delle oscillazioni del neutrino (si veda la recente rassegna<sup>(4)</sup>).

#### 3.1. – Neutrini atmosferici.

Neutrini atmosferici di tipo elettronico e muonico sono prodotti nell'atmosfera terrestre dal decadimento di pioni e muoni secondo la catena



I pioni sono prodotti nelle interazioni dei raggi cosmici con i nuclei dell'atmosfera terrestre e i muoni sono emessi nel loro successivo decadimento. Nel 1995 l'esperimento MACRO ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, studiando il flusso dei neutrini atmosferici, aveva osservato un deficit di neutrini  $\nu_\mu$  provenienti da direzione antiverticale rispetto a quelli provenienti dall'alto, ma la limitata statistica non aveva permesso di concludere che l'effetto fosse dovuto a oscillazioni di neutrini. Anche gli esperimenti KamioKande e Soudan avevano osservato una anomalia nel rapporto  $N(\nu_\mu)/N(\nu_e)$  tra i dati e le previsioni. Nel 1998 il grande esperimento sotterraneo Super-Kamiokande, col rivelatore di 50 000 tonnellate di acqua posto in una miniera giapponese, confermò l'effetto e lo interpretò correttamente come dovuto a oscillazioni di neutrino. In questi esperimenti i neutrini elettronici e muonici sono rivelati mediante l'osservazione di elettroni e muoni, prodotti nelle loro interazioni nucleari con nuclei del rivelatore stesso o della roccia intorno al rivelatore; in Super-Kamiokande grandi fotomoltiplicatori registrano la luce Cherenkov

prodotta da elettroni e muoni nell'acqua del rivelatore.

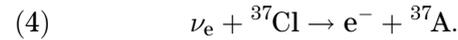
Se non ci fossero le oscillazioni di neutrino il numero di elettroni (o muoni) di alta energia diretti verso l'alto dovrebbe essere uguale al numero di elettroni (o muoni) diretti verso il basso. In effetti il numero misurato di eventi riconducibili a elettroni è in buon accordo con questa valutazione. Al contrario, il numero di muoni *up*, ossia diretti verso l'alto, è significativamente inferiore al numero di muoni *down*, diretti verso il basso: i dati sperimentali sul numero di muoni osservati in Super-Kamiokande forniscono un rapporto *up/down* =  $0,54 \pm 0,04 \pm 0,01$ . L'asimmetria *up/down* osservata si spiega in modo naturale con le oscillazioni del neutrino, in quanto i neutrini provenienti da direzioni antiverticali attraversano distanze comprese tra  $\sim 500$  km e  $\sim 13\,000$  km, mentre quelli provenienti dall'alto attraversano distanze comprese tra  $\sim 20$  km e  $\sim 500$  km.

Per questo motivo i neutrini diretti verso l'alto, che hanno attraversato distanze molto maggiori di quelli diretti verso il basso, dal luogo in cui tutti i neutrini sono stati prodotti (ossia gli strati alti dell'atmosfera) al luogo in cui vengono rivelati, scompaiono in parte a causa della loro oscillazione in altri tipi di neutrini non rivelabili. I dati dell'esperimento Super-Kamiokande e quelli di altri esperimenti per lo studio dei neutrini atmosferici possono essere interpretati come oscillazioni da neutrini  $\nu_\mu$  a neutrini  $\nu_\tau$ , con parametri di oscillazione  $\Delta m^2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$  e  $\sin^2 2\theta = 1$ .

### 3.2. – Neutrini solari.

Un'altra importante evidenza sperimentale a favore delle oscillazioni del neutrino è stata ottenuta con gli esperimenti per la rivelazione dei neutrini solari. Sappiamo che l'energia prodotta nel Sole è generata nelle parti centrali, molto calde, del Sole in seguito alle reazioni termoneucleari della catena pp (protone-protone), e in parte del ciclo CNO (Carbonio Azoto Ossigeno), che bruciano idrogeno producendo elio, neutrini elettronici  $\nu_e$  e fotoni. Quindi l'energia prodotta nel Sole non solo viene emessa sotto forma di radiazione elettromagnetica (luce e calore), ma anche come neutrini elettronici (e solo essi), il cui flusso a Terra è facilmente calcolabile conoscendo la luminosità del Sole e la sua distanza da Terra; si ottiene così<sup>4</sup>:  $\sim 6 \cdot 10^{10} \nu_e \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Poiché la sezione d'urto di interazione dei neutrini con la materia è molto piccola, la rivelazione dei neutrini solari è stata veramente una sfida. Il primo esperimento pionieristico fu fatto da R. Davis che, nel 2002, divise il premio Nobel per la fisica con M. Koshiba. Per rivelare i neutrini solari, Davis utilizzò il metodo radiochimico proposto da Pontecorvo nel 1946, ossia la reazione



Per eliminare (o almeno ridurre) il fondo dovuto alla radiazione cosmica, l'esperimento, consistente di un serbatoio contenente 615 tonnellate di tetracloroetilene, fu collocato in una miniera alla profondità di circa 1.4 km sottoterra. In due mesi di misura furono prodotti 20 atomi radioattivi di  ${}^{37}\text{A}$  secondo la reazione (4) estratti da un volume contenente circa  $2.2 \cdot 10^{30}$  molecole di  $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ; il loro decadimento fu rivelato in contatori proporzionali a basso fondo. Il primo risultato dell'esperimento di Davis, ottenuto negli anni 1969-70, fu inaspettato: il numero di eventi misurati era tra 2 e 3 volte inferiore a quello atteso per lo stesso tempo di misura (e tra 10 e 20 volte inferiore alle previsioni dei modelli solari precedenti). Questo deficit di neutrini solari fu ben presto chiamato "*il problema dei neutrini solari*". Venne subito naturale considerare le oscillazioni del neutrino come la spiegazione più immediata del risultato sperimentale di Davis; furono però necessari oltre 30 anni di ricerche per confermare l'ipotesi di Pontecorvo sulle oscillazioni del neutrino.

Nel frattempo furono costruiti altri nuovi esperimenti per la rivelazione dei neutrini solari: Kamioka (dal nome della miniera in Giappone dove ha sede l'esperimento), SAGE (Soviet American Gallium experiment nel Caucaso, in Russia), Gallex/GNO (Gallium Experiment, in seguito ampliato e rinominato Gallium Neutrino Observatory, ai Laboratori INFN del Gran Sasso

<sup>4</sup> Il numero totale di reazioni nel Sole deve essere tale da liberare una quantità di energia pari a quella emessa dalla fotosfera solare, in modo da giustificare la luminosità bolometrica  $L_0 = 4 \cdot 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$ , che costituisce quindi un vincolo molto rigido al ritmo delle reazioni di bruciamento dell'idrogeno nelle parti interne del Sole. Poiché ogni protone libera circa  $7 \text{ MeV} \sim 10^{-5} \text{ erg}$  di energia, si deduce immediatamente che l'idrogeno si deve consumare al ritmo di  $4 \cdot 10^{38} \text{ protoni s}^{-1}$  e che il numero di neutrini emessi dal Sole è  $2 \cdot 10^{38} \text{ s}^{-1}$ ; nota la distanza Terra-Sole, il corrispondente flusso di neutrini a Terra è dell'ordine di  $6 \cdot 10^{10} \nu_e \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

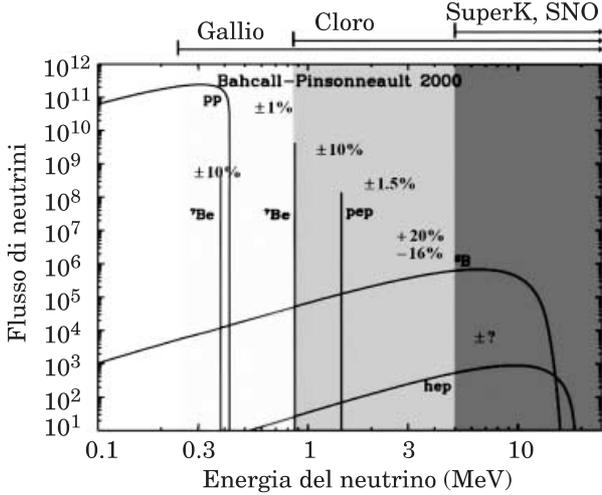


Fig. 2. - Flusso a Terra dei neutrini solari

in Italia), Super-Kamiokande (Giappone, come ampliamento di Kamioka e con l'aggiunta di Nucleon Decay Experiment) e SNO (Sudbury Neutrino Observatory, in una miniera di nickel a Sudbury in Canada). Usando metodi di rivelazione diversi, con soglie di rivelazione diverse (come si vede dalla fig. 2), con questi esperimenti è stato possibile studiare parti diverse dello spettro dei neutrini solari. In tutti questi esperimenti il flusso misurato dei  $\nu_e$  è sempre stato significativamente inferiore (si veda tabella II) a quello atteso.

L'evidenza sperimentale più forte a favore delle oscillazioni del neutrino venne ottenuta con l'esperimento più recente: SNO, in cui i neutrini solari sono rivelati mediante l'osservazione di tre diverse reazioni:

- (5)  $\nu_e + d \rightarrow e^- + p + p,$
- (6)  $\nu_x + d \rightarrow \nu_x + n + p,$
- (7)  $\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-,$

Tabella II. - Numero di catture previste (secondo due modelli solari) e misurate in esperimenti radiochimici.

reazione	$^{37}\text{Cl}$		$^{71}\text{Ga}$	
	catture (SNU)		catture (SNU)	
pp	0,0	0,0	70,8	71,1
pep	0,23	0,21	3,01	2,99
$^7\text{Be}$	1,12	0,99	34,4	30,9
$^8\text{B}$	6,15	4,06	14,1	10,77
$^{13}\text{N}$	0,10	0,10	3,77	2,36
$^{15}\text{O}$	0,34	0,37	6,03	3,66
$^{17}\text{F}$	0,003		0,06	
totale	7,9	5,8	132	122,5
misurato	2,6 ± 0, 16 ± 0,14 (Homestake)		70 ± 8 (Gallex) 72 ± 10 (Sage)	

dove  $\nu_x$  rappresenta neutrini di ogni specie, ossia:  $\nu_e, \nu_\mu$  o  $\nu_\tau$ . La rivelazione dei neutrini mediante la reazione a correnti cariche (5) permette di determinare il flusso dei soli  $\nu_e$  a Terra, mentre la reazione a correnti neutre (6) permette di determinare il flusso a Terra di neutrini di ogni specie  $\nu_e, \nu_\mu$  e  $\nu_\tau$ . Nell'esperimento SNO è stato misurato sia il flusso di neutrini  $\nu_e$ , che vale:

$$(8) \quad (\Phi_{\nu_e}^{CC})_{\text{SNO}} = (1,76_{-0,05}^{+0,06} \text{ stat.} \pm 0,09 \text{ sist.}) \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

sia il flusso di neutrini di ogni specie, che vale

$$(9) \quad (\Phi_{\nu_e}^{NC})_{\text{SNO}} = (5,09_{-0,43}^{+0,44} \text{ stat.} +_{-0,43}^{+0,46} \text{ sist.}) \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1},$$

ossia circa 3 volte superiore al flusso dei soli  $\nu_e$ . Dalle (8) e (9) si può ottenere il flusso di  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$  a Terra, il cui valore è (vedi fig. 3)

$$(10) \quad (\Phi_{\nu_{\mu,\tau}})_{\text{SNO}} = (3,41_{-0,45}^{+0,45} \text{ stat.} +_{-0,45}^{+0,86} \text{ sist.}) \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}.$$

Quindi, l'esperimento SNO ha ottenuto un'evidenza diretta e non dipendente da modelli della transizione dai neutrini originali  $\nu_e$  prodotti nel Sole ai neutrini  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$ , che non sono prodotti nel Sole. In conclusione, non solo i dati di tutti gli esperimenti sui neutrini solari sono perfettamente descritti dal fenomeno delle oscillazioni dei neutrini, ma anche i parametri delle oscillazioni sono stati misurati:

$$(11) \quad \Delta m^2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2; \quad \tan^2 \theta = 0,34.$$

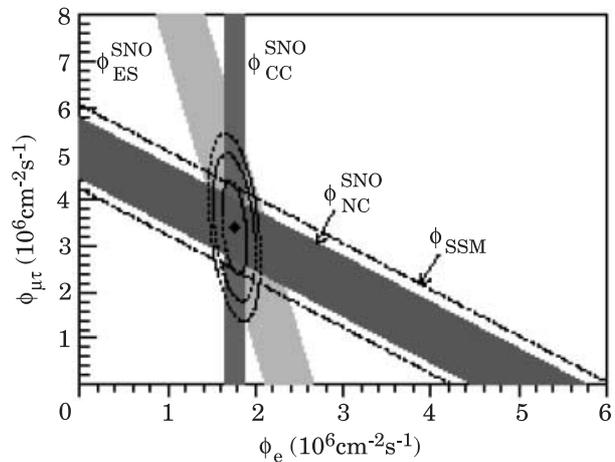
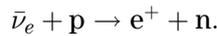


Fig. 3. - Flusso di  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$  in funzione del flusso di  $\nu_e$ . L'intersezione delle bande definisce il best fit dei flussi  $\Phi_{\nu_e}$  e  $\Phi_{\nu_{\mu,\tau}}$  (5).

3.3. – Neutrini da reattori.

Recentemente è stata ottenuta un'importante prova sperimentale a favore delle oscillazioni del neutrino con l'esperimento KamLAND, (*Kamioka Liquid scintillator Anti Neutrino Detector*) che ha misurato il flusso di neutrini da reattore e ha ottenuto valori dei parametri compatibili con quelli dei neutrini solari dati dalla (11). In questo esperimento, consistente di circa 1000 tonnellate di scintillatore liquido posto alla profondità di circa 1 km sottoroccia nella miniera di Kamioka (Giappone), vengono rivelati i neutrini  $\bar{\nu}_e$  emessi da molti reattori nucleari in Giappone e Corea; circa l'80 % del numero totale di eventi è dovuto a neutrini prodotti da 26 reattori posti entro distanze di 138-214 km. La rivelazione dei neutrini  $\bar{\nu}_e$  avviene mediante l'osservazione del processo:



Il numero osservato di interazioni di  $\bar{\nu}_e$  è stato 54, mentre quello calcolato in assenza di oscillazioni è significativamente maggiore, ossia  $86,8 \pm 5,6$ .

In fig. 4 viene riportato, per tutti gli esperimenti che hanno usato neutrini da reattori, il rapporto tra numero di interazioni di  $\bar{\nu}_e$  osservate e attese in funzione della distanza media tra i reattori e il rivelatore. Si può notare che l'effetto di scomparsa dei  $\bar{\nu}_e$  da reattore si osserva solo se la distanza tra reattori e rivelatore è sufficientemente grande da evidenziare l'effetto delle oscillazioni di neutrino con piccolo  $\Delta m^2$ ,

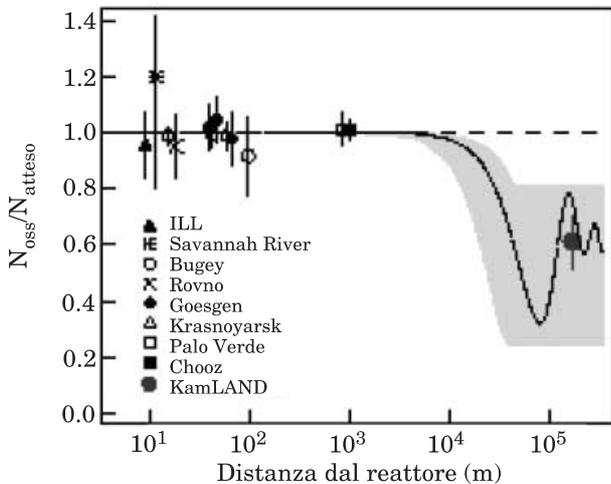


Fig. 4. – Rapporto tra il numero di eventi di  $\bar{\nu}_e$  misurati ( $N_{oss}$ ) e previsti in diversi esperimenti ( $N_{atteso}$ ) sui neutrini da reattore. La curva tratteggiata corrisponde ai valori  $\Delta m^2 = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$  e  $\sin^2 2\theta = 0,83$  (⁶).

ossia grande lunghezza di oscillazione. Dall'analisi dei dati di KamLAND si sono ottenuti i seguenti parametri dell'oscillazione:

$$(11) \quad \Delta m^2 = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2; \quad \sin^2 2\theta = 1.$$

Tutti i dati sperimentali, sui neutrini atmosferici, solari e da reattore, si possono spiegare nell'ipotesi che esistano 3 neutrini massivi e che gli stati dei neutrini  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$ , prodotti nei decadimenti deboli e che interagiscono con la materia mediante interazioni deboli, siano una "miscela" coerente degli stati dei neutrini con masse ben precise.

4. – Conclusioni

I dati sperimentali sulle oscillazioni dei neutrini permettono di determinare i valori delle differenze quadratiche delle masse, mentre i valori delle masse dei singoli neutrini sono ancora incogniti. Recentemente, i dati degli esperimenti di Troitsk e di Mainz sul decadimento  $\beta$  del tritio ( ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$ ), in particolare l'analisi dettagliata della parte di alta energia dello spettro di decadimento, hanno permesso di ottenere un limite superiore diretto della massa del neutrino, ossia  $m < 2,2 \text{ eV}$ . Il limite superiore più restrittivo alla somma delle masse dei neutrini viene da misure cosmologiche: i recenti dati di WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*, un satellite lanciato nel giugno 2001 per lo studio della radiazione di fondo cosmico) forniscono  $\Sigma m_i < 0,71 \text{ eV}$ .

Uno dei principali problemi nella fisica del neutrino riguarda la *natura dei neutrini massivi*. Se il numero leptonico totale  $L = L_e + L_\mu + L_\tau$  si conserva, i neutrini massivi sono particelle di Dirac con  $L = 1$  per i neutrini e  $L = -1$  per gli antineutrini. Se il numero leptonico di famiglia non si conserva, neutrini e antineutrini massivi sono particelle identiche, ossia particelle del tipo introdotto da E. Majorana nel 1934. In questo caso è possibile il decadimento  $\beta$  doppio di alcuni nuclei pari-pari senza emissione di neutrini ma solo di due elettroni. Molti sono gli esperimenti che ricercano questo tipo di decadimento da nuclei diversi (anche in questo campo gli esperimenti dei Laboratori INFN del Gran Sasso hanno fornito risultati molto importanti), ma nessuna indicazione a favore di questo processo è stata ancora trovata. Il limite inferiore più restrittivo alla vita media del decadimento  $\beta$  senza neutrini,  $1,9 \cdot 10^{25}$  anni, è stato ottenuto

studiando il  $^{76}\text{Ge}$ , ma si ritiene che nei prossimi anni questo limite possa essere significativamente migliorato con l'entrata in misura di nuovi esperimenti con maggior sensibilità.

La scoperta delle oscillazioni del neutrino, prevista da Bruno Pontecorvo oltre 40 anni fa, significa che i neutrini hanno massa e sono una miscela di autostati. Tutti i dati esistenti indicano che le masse dei neutrini sono molto più piccole delle masse delle particelle delle altre famiglie: leptoni e quark; per esempio, la massa del neutrino più pesante è circa 13 ordini di grandezza più piccola della massa del leptone  $\tau$ .

Tutti i dati esistenti sui processi deboli ed elettromagnetici sono perfettamente descritti dal Modello Standard delle interazioni elettrodeboli, che però non spiega perché le masse dei neutrini siano così estremamente piccole. Si

deve ricorrere ad una nuova fisica a scale energetiche molto maggiori di quella elettrodebole (circa 100 GeV). Le oscillazioni del neutrino e altri fenomeni connessi potranno costituire un importante mezzo d'indagine per questa nuova fisica.

#### Bibliografia

- (1) B. PONTECORVO, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **34** (1958) 247, (*Sov. Phys. JETP*, **7** (1958) 172).
- (2) B. PONTECORVO, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **53** (1967) 1717.
- (3) Z. MAKI, M. NAKAGAWA e S. SAKATA, *Prog. Theor. Phys.*, **28** (1962) 870.
- (4) S.M. BILENKY, C. GIUNTI, J.A. GRIFOLS e E. MASSO hep-ph/0211462, *Phys. Rep.* **379** (2003) 69.
- (5) Q. R. AHMAD *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **89** (2002) 011301; hep-ex/0204008.
- (6) K. EGUCHI *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **90** (2003) 021802; hep-ex/0212021.

# RECENSIONI

**S. Rao (Editor)**

**Field Theories in Condensed Matter Physics.**

**IOP Publishing, Ltd., Bristol and Philadelphia 2001; pp. XIV + 408; £ 35.00**

Questo libro è l'esito di una scuola invernale post-universitaria tenuta in India al Harish-Chandra Research Institute nel 2000 da un gruppo di ottimi docenti indiani esperti nelle teorie di campo nella materia condensata. Il libro raccoglie sette gruppi di lezioni su alcuni temi fondamentali quali: 1) la fisica quantistica dei sistemi a molte particelle; 2) i fenomeni critici; 3) le transizioni di fase e il gruppo di rinormalizzazione; 4) i difetti topologici e le rotture spontanee di simmetria; 5) i liquidi di Fermi e di Luttinger e la bosonizzazione; 6) l'effetto Hall quantistico; 7) i sistemi di spin a bassa dimensionalità.

Informazione importante: la scuola è stata una vera scuola e non la solita passerella di seminari che contraddistinguono molte scuole estive. Le lezioni tenute da ciascun docente si articolavano su diverse ore, avendo la classica struttura dei corsi monografici tipici del sistema universitario britannico. Il libro riflette questa struttura e quindi è effettivamente utile per lo svolgimento o approfondimento dei temi trattati nei nostri corsi di dottorato riguardanti la fisica teorica dei sistemi a molti corpi. Anche la presentazione e la stessa grafica sono molto curate e ciascun gruppo di lezioni è costellato di problemi ed esercizi. Non a caso il volume è entrato a far parte di una collana di testi dell'IOP molto considerata e molto ben fatta.

G. Benedek

**V.M. Agranovich and G.C. La Rocca (Editors)**

**Organic Nanostructures: Science and Applications.**

**Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", Course CXLIX.**

**SIF-IOS Press, Amsterdam, Oxford, Tokio, 2002; pp. XX+ 630; € 170.00**

This is a collection of the lectures and posters presented at the Enrico Fermi Summer School in 2001 in Varenna, and covers the subjects of optical and transport properties of organic materials with emphasis on their nanoscale characteristics.

The role of "nanostructures" seems to be somewhat different between the optical and transport properties. In the former, there has been a lot of studies, including inorganic substances, about the dependence of optical responses on sample size and shape in nano scale, while, in the latter, more interest is put on the choice of organic molecules and their combinations for a given aim, so that the nano aspects of the systems have not yet been questioned severely.

One of the motivations for these studies is the possibility of inexpensive optoelectronic and electronic devices, such as LED, laser, solar cell, etc., for which many articles are presented in these proceedings. On the other hand, there are still problems to be solved about the fundamental aspects of the photophysics in these materials, such as the nature of elementary excitations and their dynamics, and the mechanisms of charge carrier generation, etc. In addition, organic systems allow exotic species arising from the peculiarities of constituent molecules, such as self-assembled 1D molecular aggregates and dendrimers, which provide specific problems reflecting their shapes and geometries.

The problems, concepts, and methods treated in these proceedings are as follows: Spectroscopy in frequency and time domains, charge transfer excitons, photocurrent, charge carrier mobility, conductivity, charge carrier production, solitons, polarons, insulator-metal transition, single-molecule detection, excitons in J-aggregates, optoelectronic and electronic devices, interface properties and their

detection methods, controlled doping, ultrafast photophysics, polymer morphology, light-emitting displays, organic MBD, cavity polaritons, energy transfer in a microcavity/dendrimer, tunable photonic structures, photorefractivity, mixing of Frenkel and CT excitons, and so on. Single-molecule spectroscopy can be counted as a highlight of this field, where a great deal of examples are accumulated, covering quantum optics, molecular and solid state physics, and biology.

A series of outstanding discoveries in this field made and summarized by Schoen could have been another highlight of these proceedings, but they were recently put under an official investigation by Bell Telephone Laboratories and retracted from the original journals. This must have been an awkward situation for editors, but it is an acceptable decision to include this article as a historical fact. However, the interests and good prospects of studying these material systems are kept safe and sound, as vividly shown by the other articles of this volume.

Kikuo Cho

**F. Cardarelli - Scientific Unit Conversion. A Practical Guide to Metrication. 2nd Edition. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999; pp. XVI+488; DM 79.00**

Ci sono la bellezza di oltre diecimila unità di misura scientifiche che si sono accumulate nel tempo, molte ancora usate, altre dimenticate. E tuttavia, per quanto sia vasto il territorio della scienza e della tecnologia di oggi, è facile immaginare che le grandezze fisiche in uso siano molte, molto meno. Se ne deduce che ciascuna grandezza fisica è stata gratificata di un grande numero di diverse unità di misura. Al di là del Sistema Internazionale, che cerca di mettere d'accordo fisici e salumieri, dei sistemi cgs e di Gauss, dal quale i fisici si distaccano con comprensibile riluttanza, e delle varie unità atomiche, esiste una miriade di sistemi *ad hoc*, ideati su misura (scusate il gioco di parole) per comunità tecniche "di nic-

chia". C'è qualcuno, ad esempio, a cui la pressione piace misurata in piedi di mercurio. C'era una volta il cavallo vapore (HP) pari a 735.49875 watt (quello francese) oppure 745.70 watt (quello inglese). Manco a dirlo i cavalli inglesi tirano più di quelli francesi. Non so però chi ha inventato il *donkey* (pari a 250 watt), ossia l'"asino vapore". Ci vogliono dunque circa tre asini per fare un cavallo vapore (inglese). Se siete interessati ad altre fantastiche unità di misure e loro conversioni non vi resta che procurarvi la seconda edizione dell'ormai celebre volume di François Cardarelli "Scientific Unit Conversion". Non è solo uno strumento utilissimo di consultazione, tutto definizioni e tabelle ma è un vero libro di storia, visto dal particolare punto di vista delle unità di misura. La misura sta alla base di quasi tutte le attività umane, dall'agricoltura al commercio, dall'industria alla ricerca scientifica, dalla navigazione alla finanza, dall'architettura all'attività sportiva, eccetera. Le relazioni tra tribù, città, stati fino all'attuale globalizzazione hanno comportato l'equiparazione dei sistemi di misura, la definizione di standard convenzionali, e la storia di questi processi corrisponde a quella politica. Il manuale di Cardarelli fornisce un breve profilo storico ed elenca anche tutte le unità di misura, passate e presenti delle varie aree del mondo con le rispettive conversioni in unità attuali. Queste tabelle costituiscono uno strumento unico per gli storici della scienza, dell'economia e dell'interscambio. Per i fisici questo manuale, definito tascabile dalla Springer (tasche grosse, naturalmente, essendo di 500 pagine 12x24), è invece indispensabile per le definizioni di tutte le unità di misura in tutti i sistemi di uso corrente, comprese le unità atomiche, elettriche, eccetera, per le rispettive tavole di conversione, dei simboli e dimensioni, e per i valori aggiornati delle costanti fondamentali e derivate.

G. Benedek

## M. Gell-Mann

**Il quark e il giaguaro. Avventure nel semplice e nel complesso. Saggi scientifici. Bollati Boringhieri editore. Torino, 1996; pp. 436; € 33,57.**

Murray Gell-Mann ci guida verso i grandi temi del semplice e del complesso: il quark nel titolo del libro sottolinea la semplicità delle leggi fisiche fondamentali che governano sia le particelle elementari che il cosmo, mentre il giaguaro rappresenta la

complessità del mondo che ci circonda, in particolare degli organismi viventi, risultato di una lunga evoluzione selettiva. L'esplorazione di questi due campi e delle loro relazioni interne ci conduce ad una serie di straordinarie avventure intellettuali. Gell-Mann ha tratto il titolo del libro da una poesia di un amico, che recita: «Con il mondo di quark tutto ha in comune/il giaguaro furtivo nella notte». Il libro fa molti riferimenti al famoso Santa Fe Institute, che Gell-Mann ha contribuito a formare; in questo istituto scienziati di diversa estrazione investigano le diversità e le somiglianze dei sistemi complessi adattativi, sistemi che imparano e/o evolvono utilizzando informazioni acquisite.

Il libro è diviso in 4 parti.

Parte prima: Il semplice e il complesso.

L'autore discute i vari significati di semplicità e complessità, in particolare dei sistemi complessi adattativi, come gli organismi viventi. Ma si sofferma anche sui batteri che sviluppano una resistenza ai farmaci, su un bambino che impara una lingua, sulla vita intesa come complessità effettiva fra ordine e disordine, e su molti altri argomenti e connessioni. Vi sono anche cenni di tipo autobiografico: l'autore, passeggiando in una foresta, si domanda «se, in linea di principio, non si possa utilizzare la meccanica quantistica per trattare l'individualità, e per descrivere quali frutti saranno mangiati dai pappagalli, oppure...». A prima vista si può avere l'impressione che tra la fisica fondamentale e le strutture complesse vi sia un abisso. Il quark e le altre particelle elementari non hanno una individualità e si pensa che le leggi della fisica delle particelle elementari siano esatte, universali e immutabili. Tali leggi debbono però aver permesso lo sviluppo di sistemi complessi, come un giaguaro, che ha una precisa individualità. E durante un'altra passeggiata in un altro bosco l'autore fu come colpito da una rivelazione: «... i due mondi, quello della fisica fondamentale e quello degli esseri viventi come il giaguaro, sono in realtà uno solo».

Parte seconda: l'Universo quantistico.

In questa parte l'autore tratta delle leggi fondamentali della fisica, quelle che governano le particelle elementari di cui è fatta tutta la materia dell'Universo. Vi include l'attuale Modello Standard del microcosmo, le particelle fondamentali e i diagrammi di Feynman, il sogno di Einstein di una teoria unificata di tutte le interazioni, la teoria delle stringhe, le obiezioni di Einstein alla meccanica quantistica e si pone domande del tipo: «com'è possibile che ci siano tante particelle elementari?».

Parte terza: selezione e adattamento.

In questa sezione l'autore si occupa delle pressioni selettive operanti nei sistemi complessi adattativi, specialmente di quelli biologici; e discute dei meccanismi dell'evoluzione biologica e a cosa servono i maschi. Ma discute anche sull'evoluzione delle lingue parlate, sulle

macchine che simulano l'apprendimento, e i computer più avanzati presentandoli come sistemi complessi adattativi.

Parte quarta: diversità e sostenibilità.

Questa parte, dedicata principalmente alla conservazione della biodiversità, ha un taglio più «politico» che scientifico. L'autore afferma la necessità di impegnarsi più a fondo per preservare la biodiversità, ma sostiene anche la sostenibilità e la conservazione delle diversità culturali umane.

Ne è risultato un libro molto interessante, stimolante, provocatorio, con rapidi passaggi attraverso compartimenti della conoscenza umana che sono di solito separati e quasi reclusi ai non addetti. Gell-Mann è un famoso fisico teorico, che ha ricevuto il premio Nobel in fisica ed ha interessi culturali in campi diversi. Il libro riflette sia questi suoi molteplici interessi che la vivacità scientifica e culturale dell'autore. Una piccola pecca di questa opera è la scarsità di illustrazioni.

Il libro può essere classificato come un'opera a carattere divulgativo, ma è di fatto unico nel suo genere. Alcune parti del libro non sono di facile lettura: per il comune lettore il libro talvolta non è sempre una «facile passeggiata», ma offre sempre spunti e discussioni stimolanti.

È un libro raccomandabile a ricercatori e a quanti desiderano discutere le profonde connessioni fra settori scientifici molto diversi e vorrebbero raggiungere una visione globale dell'Universo.

G. Giacomelli e R. Giacomelli

57

**C.T.H. Davies and S.M. Playfer (Editors)**

**Heavy Flavour Physics. Theory and Experimental Results in Heavy Quark Physics and CP Violation.**

**IOP Publishing, Ltd., Bristol and Philadelphia, 2002; pp. XI + 393; £ 40.00**

Il testo è una collezione di dieci articoli dedicati agli aspetti teorici e fenomenologici della fisica degli *heavy quarks* con particolare riguardo al quark b e alla violazione della simmetria CP.

Gli articoli sono basati sulle lezioni tenute dagli autori alla Scuola estiva di Fisica a St. Andrews in Scozia nell'agosto 2001, destinate a un'*audience* di neolaureati o postdoc attivi nel settore.

Gli argomenti trattati sono di punta nella fase attuale della fisica delle particelle elementari e costituiscono una fra-

zione rilevante sia della ricerca sperimentale che degli studi teorici.

La fisica del quark  $b$  e la violazione di CP sono intimamente legate: lo studio dei decadimenti e del *mixing* dei mesoni B neutri offre un ampio campo di studio e dalla vasta campagna in corso di misure sulle asimmetrie di decadimento dei mesoni B (alle *B-factories* di SLAC e di KEK) si aspetta una verifica delle predizioni dello *Standard Model* (SM) in proposito. Infatti mentre da una parte gli esperimenti di fisica delle particelle finora non contraddicono le previsioni dello SM dall'altra sembra che lo SM non possa spiegare — in base ai correnti modelli di bariogenesi — l'asimmetria tra materia e antimateria osservata nel nostro Universo. Lo scopo delle ricerche in corso è quindi anche di trovare eventuali indizi di violazioni di CP oltre il Modello Standard che aprano scenari di nuova fisica e possano dare ragione delle osservazioni cosmologiche. A tal fine sono rilevanti anche altre misure di precisione a bassa energia (*mixing*, decadimenti rari) che possono costituire *tests* della teoria a scale di energie molto più elevate ed offrire informazioni cruciali sulla struttura delle interazioni elettro-deboli.

Il testo è equamente suddiviso in una prima parte comprendente articoli teorici (piuttosto formali e di lettura impegnativa) e in una seconda dedicata alla rassegna dei risultati sperimentali.

Il quadro teorico generale è illustrato da una *review* (J. Rosner) dello SM dove accanto ai concetti principali e al formalismo vengono anche discussi alcuni punti in maniera più approfondita (divergenze, dipendenza dalla scala) e possibili estensioni dello SM (doppietti o tripletti di bosoni di Higgs, SuperSimmetria, Technicolour).

La SuperSimmetria in particolare e le sue implicazioni rispetto alla fisica del

*flavour* e la violazione di CP è trattata da S. Abel che introduce le motivazioni, il cosiddetto modello MSSM, i meccanismi di rottura della simmetria, e discute i possibili effetti su alcune quantità misurabili come  $\epsilon'/\epsilon$ , i *branching ratios* di decadimenti rari dei mesoni K e B, il momento di dipolo elettrico del neutrone.

La violazione di CP viene più esaurientemente trattata nel pregevole articolo di Y. Nir, nel quadro dello SM e della matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM). Il formalismo per il *mixing*, i tre differenti meccanismi di violazione di CP (*mixing*, decadimento, interferenza tra decadimenti con e senza *mixing*) sono chiaramente spiegati ed illustrati in dettaglio nel caso dei decadimenti dei mesoni K, D e B.

Alla dinamica dei decadimenti è invece dedicato l'articolo di G. Buchalla che descrive le differenti metodiche teoriche in uso: la *effective weak Hamiltonian*, la tecnica OPE (*Operator Product Expansion*), la HQET (*Heavy Quark Effective Theory*) e la HQE (*Heavy Quark Expansion*), la fattorizzazione dei contributi *short/long distance*.

Tuttavia alcune quantità relative alla QCD non perturbativa possono essere valutate solo con calcoli sul lattice. In proposito la metodologia generale è illustrata da C. Davies che successivamente discute le approssimazioni (in particolare la *quenched approximation*), le sistematiche (dovute alla scelta del passo e del volume del *lattice*, alla estrapolazione al continuo) e riporta i più recenti risultati dei calcoli per vari parametri rilevanti quali  $f_B$ ,  $f_{D_s}$ ,  $B_B$  etc.

Buona parte dei risultati sperimentali è illustrata e discussa nei due eccellenti articoli di S. Stone e K. Schubert dedicati rispettivamente alla fenomenologia dei decadimenti dei mesoni B e ai risultati

delle *B-Factories* PEP-2 e KEK. Qui sono anche illustrate le caratteristiche delle macchine e dei rivelatori nonché con qualche dettaglio i criteri di analisi dei dati sperimentali. Questi comprendono la misura degli elementi della matrice CKM (in particolare  $V_{cb}$  ed  $V_{ub}$ ), il  $B^0$  *mixing*, i *branching ratios* per decadimenti rari, le asimmetrie temporali di decadimento rilevanti per lo studio della violazione di CP.

I risultati di cui sopra vengono in buona parte dalle macchine  $e^+e^-$ ; ma pure le macchine adroniche hanno dato contributi importanti: K. Kleinknecht tratta le misure di CP nel sistema  $K^0\bar{K}^0$  fatte dagli esperimenti NA48 al CERN e KTeV a FermiLab; P. Krizan illustra i risultati e le prospettive degli esperimenti CDF al Tevatron e Hera-B a DESY nonché il programma a più lungo termine dell'esperimento B-TeV. In proposito il merito e il potenziale di fisica degli esperimenti di seconda generazione è illustrato in più dettaglio da T. Nakada per l'esperimento LHCb alla macchina in costruzione al CERN. Le macchine adroniche offrono il vantaggio di *rates* più elevate, di un maggior *boost* per i mesoni B prodotti e di produrre anche mesoni  $B_s$ ,  $B_c$  e i barioni  $b$ . Per contro gli svantaggi sono un rapporto segnale/fondo molto più sfavorevole che comporta l'adozione di complicati sistemi di *trigger*, la necessità di avere rivelatori ed elettronica *radiation hard*, eventi più complessi con possibilità di interazioni multiple per singolo *bunch crossing*.

Nonostante qualche sovrapposizione nel complesso gli articoli forniscono una panoramica ragionevolmente coordinata e piuttosto esauriente del soggetto; quindi il volume è senz'altro un utile strumento di studio e riferimento per gli addetti del settore.

G. Capon

# SCELTI PER VOI

a cura di Sergio Focardi

## RADIOSCOPIE COI RAGGI COSMICI

Il sistema ha lo scopo di scoprire trasporti clandestini di materiali radioattivi, la cui esistenza all'interno del mezzo su cui viaggiano viene celata schermandone la radioattività con un involucro di materiale ad alto numero atomico, come ferro, piombo, tungsteno. Come radiazione esploratrice vengono utilizzati muoni della radiazione cosmica che, come noto, essendo leptoni interagiscono con la materia che attraversano in pratica solo per via elettromagnetica.

I muoni sono, a livello del mare, la più abbondante componente della radiazione cosmica e il flusso di quelli la cui energia è sufficiente ad attraversare uno spessore di 10 m d'acqua è dell'ordine dei  $10^4$  per  $m^2$  e per minuto.

Per scoprire la natura del materiale attraversato si tratta di misurare la distribuzione delle deflessioni angolari che i muoni subiscono per effetto delle multiple interazioni coulombiane. La semilarghezza della gaussiana dipende dal numero atomico del materiale attraversato e dal suo spessore; per 10 cm di questo, essa passa da 2,3 mrad dell'acqua a 11 mrad del ferro, a 20 mrad del piombo.

Per effettuare queste misure, ovviamente all'insaputa di chi guida il veicolo, occorre che esso sia fatto transitare fra i rivelatori che costituiscono il sistema. Questi sono quattro camere a deriva collocate due sopra e due sotto il camion, rivelatori piani ciascuno dei quali registra le coordinate della posizione attraversata dal muone. Il sistema ottiene in questo modo le due direzioni della particella, prima e dopo l'interazione, dalle quali può essere dedotto l'angolo di deflessione.

Le verifiche del sistema sono state effettuate utilizzando un cilindro di tungsteno sostenuto da due rotaie di ferro: cilindro e rotaie sono stati visualizzati.

Le simulazioni effettuate con un Montecarlo hanno permesso di verificare che un cubo di uranio di 10 cm di lato posto entro un contenitore che ne schermi la radiazione emessa può essere identificato in un minuto di esposizione.

*Nature*, **422**, 20 marzo 2003, pag. 277

## METABONOMICA

Le analisi cliniche sono oggi imposte nella ricerca, effettuata in fluidi

organici, di particolari indicatori: nel caso della prevenzione delle malattie cardiache si misura la concentrazione nel sangue del colesterolo. In altri casi, la situazione non è altrettanto fortunata perché non è noto chi sia il nemico da ricercare.

La Metabonomica ha un approccio al problema completamente diverso perché si pone l'obiettivo di identificare le vie metaboliche, anziché ricercare l'esistenza nell'organismo di particolari sostanze chimiche. La speranza dei sostenitori di questo diverso metodo è di riuscire, confrontando i risultati dell'analisi con una serie di profili relativi a diverse malattie, a prevedere in anticipo il loro insorgere. In un certo senso l'idea non è affatto nuova; anzi può contare su un precursore di tutto rilievo, il premio Nobel per la chimica Linus Pauling. Questi già negli anni '50 sperimentava qualcosa di simile, facendo passare attraverso un cromatografo a gas l'aria espirata dai suoi pazienti. Gli esperimenti di Pauling fallirono perché le tecniche dell'epoca non erano all'altezza della situazione.

I cicli metabolici fondamentali, come ad esempio quello di Krebs che libera energia, sono ben conosciuti; ad essi vanno aggiunti percorsi metabolici secondari non tutti noti. Va inoltre tenuto conto che nell'organismo umano trova ospitalità 1,5 kg di flora intestinale, una massa dello stesso ordine di un organo importante. Questi ospiti influenzano il nostro metabolismo producendo sostanze chimiche che noi assorbiamo.

Ciò che mancava a Pauling erano la NMR e tecniche di analisi informatiche. Infatti la metabonomica procede nel modo seguente: si preleva un campione di sangue dal paziente che, dopo centrifugazione per liberarlo dai globuli rossi e bianchi, viene analizzato con NMR. Il risultato, in qualche ora di tempo, è uno spettro con oltre 10000 picchi, che deve essere confrontato con spettri noti, tipici delle diverse malattie.

La semplicità di questa tecnica, di fatto non invasiva, e anche la relativa rapidità con cui possono essere eseguite le analisi appaiono promettenti nel confronto con le alternative.

Analizzando campioni di plasma di centinaia di volontari ai quali erano state diagnosticate, mediante angiografia, malattie cardiache e di un gruppo di controllo di volontari sani, il sistema ha dimostrato di saper individuare con una probabilità maggiore del 90% i malati.

L'importanza del risultato risiede nel fatto che gli angiogrammi, pur essendo accurati, richiedono tempo e non sono del tutto privi di rischi perché la radiografia deve essere preceduta dalla iniezione di un liquido di contrasto.

*New Scientist*, 3 maggio 2003, pag. 37

## UN MAGNETOMETRO ATOMICO DI ELEVATA SENSIBILITÀ

Le collisioni atomiche con cambio di spin hanno in generale effetti indesiderabili: possono, per esempio, estrarre atomi da un condensato di Bose-Einstein o causare variazioni di frequenza degli orologi atomici. La precisione di questo magnetometro è, viceversa basata sulla possibilità di esaltare l'effetto di queste collisioni aumentando la densità degli atomi.

Il magnetometro utilizza atomi di potassio i cui spin vengono allineati da un fascio laser; un campo magnetico perpendicolare alla direzione degli spin produce una precessione di Larmor con una rotazione proporzionale alla sua intensità. Un secondo fascio laser, la cui direzione è perpendicolare a quella del fascio precedente viene utilizzato per misurare la rotazione prodotta.

Lo strumento può misurare campi di intensità dell'ordine di 0,5 femptotesla in regioni dell'ordine di 2 mm. Gli autori ritengono che ulteriori sviluppi possano permettere di abbassare la sensibilità portandola a livello di  $10^{-18}$  T, circa 1000 volte minore di quella degli SQUID. Ciò permetterà di impiegare il magnetometro per registrare i deboli campi magnetici cerebrali, dando un contributo importante allo studio dei fenomeni epilettici.

Una interessante modifica dello strumento è consistita nell'aver aggiunto nella cella che contiene gli atomi di potassio,  $^3\text{He}$  che si polarizza mediante interazione di scambio di spin con gli atomi di potassio. Variazioni del campo esterno vengono quindi compensate mediante gli intensi campi magnetici fra atomi di He e di potassio. Lo scopo di questa variante è la verifica di ipotetiche interazioni dovute a violazioni delle fondamentali simmetrie della fisica.

*Nature*, **422**, 10 aprile 2003, pag. 574 e 596

# ANNUNCI

## X Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica

Pavia, Ottobre 2003

Prima Circolare

Il X Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica si terrà a Pavia presso il Museo per la Storia dell'Università nella seconda metà di ottobre 2003, organizzato congiuntamente dal Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica (GNFSC), dal Museo per la Storia dell'Università di Pavia e dal Dipartimento di Fisica "A. Volta" di detta Università.

Il Convegno comprenderà conferenze ad invito e comunicazioni scientifiche. Si prevede di articolare i lavori nelle seguenti aree tematiche: **I chimici e la Chimica** (riflessioni storiche ed epistemologiche sulle teorie, i concetti e i fondamenti della disciplina)

- **La Chimica e le altre scienze** (studi/ricerche interdisciplinari, intersezioni tra la disciplina e le altre scienze della natura quali fisica, medicina, botanica, astronomia ecc.)
- **La Chimica e l'Europa** (circolazione delle idee nei vari paesi europei, scuole scientifiche, problemi)
- **Chimica e Didattica** (storia della didattica della disciplina, analisi dell'evoluzione dei manuali, rapporti tra storia ed insegnamento)
- **Chimica e Società** (Chimica e artigianato, industrie, istituzioni)

For further information:

Dr. M. CIARDI c/o ISTITUTO E MUSEO DI STORIA DELLA SCIENZA

PIAZZA DEI GIUDICI, 1 - 50122 FIRENZE

E-MAIL: [mmciardi@iol.it](mailto:mmciardi@iol.it) - FAX 055 2653130

## VIII Training Course in the Physics of Correlated Electron Systems and High-Tc Superconductors

*Vietri sul Mare (Salerno) Italy*

*6 - 17 October 2003*



For further information please contact:

*Dr. Adolfo Avella*

Dipartimento di Fisica "E.R. Caianiello"  
Università degli Studi di Salerno  
Via S. Allende - 84081 Baronissi (SA) - Italy

Tel. +39 089 965418

Fax: +39 089 965275

E-mail: [avella@sa.infn.it](mailto:avella@sa.infn.it)

<http://scs.sa.infn.it/TCVIII/>



ARCISPEDALE  
SANTA MARIA NUOVA  
FONDATAZIONE  
1472

Regione Emilia-Romagna

U.D. di Medicina Nucleare - Centro PET  
U.D. di Radioterapia Oncologica  
U.D. di Fisica Sanitaria



Washington University in St. Louis  
BJC International Healthcare  
Services

Meeting Internazionale  
**Imaging Metabolico  
PET  
per una Moderna  
Radioterapia**

Hotel Mercure Astoria, Reggio Emilia  
14-15 Ottobre 2003



**Informazioni**  
Segreteria Organizzativa  
Dr.ssa Annarita Guglielmi  
Servizio Sviluppo Organizzativo  
Arcispedale S. Maria Nuova  
Viale Risorgimento, 80 - 42100 Reggio Emilia- Italia  
Tel. 0522 296839  
E-mail: [guglielmi.annarita@asmn.re.it](mailto:guglielmi.annarita@asmn.re.it)  
[www.asmn.re.it/Convegni/Convegni.htm](http://www.asmn.re.it/Convegni/Convegni.htm)

# AHEP-2003

International Workshop on Astroparticle  
and High Energy Physics

October 14 - 18, 2003, Valencia, Spain



For further information:

Workshop Secretariat

Web: <http://nac15.ific.uv.es/conference/index.html>

E-mail: [ahep2003@ific.uv.es](mailto:ahep2003@ific.uv.es)

Fax: +34 96 354 3520

Address: AHEP-2003 Secretariat

Instituto de Física Corpuscular - CSIC/UVEG

Edificios Institutos de Paterna

Apartado de Correos 22085

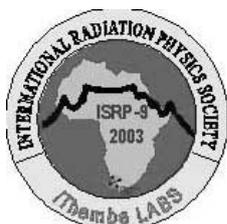
E-46071 Valencia

Spain

# 61

## 9th International Symposium on Radiation Physics (ISRP-9) and Workshop on Radiation Based Analytical Techniques

Cape Town, South Africa, 24-31 October 2003



For further information:

Dr D T L Jones (IRPS Vice President)

iThemba LABS

P O Box 722, Somerset West - 7129, SOUTH AFRICA

Tel: +27-21-843-1336 Fax: +27-21-843-3382

E-mail: [isrp9@tlabs.ac.za](mailto:isrp9@tlabs.ac.za) web-site: [www.isrp9.tlabs.ac.za](http://www.isrp9.tlabs.ac.za)

**DAL MONITORAGGIO  
DEGLI AGENTI FISICI SUL TERRITORIO  
ALLA VALUTAZIONE  
DELL'ESPOSIZIONE AMBIENTALE**

29-31 Ottobre 2003  
Villa Gualino, Torino



Per ulteriori informazioni:

**Hegedus Agnes**

Istituto Scientifico Europeo  
Piazza S. Carlo, 1 - 28041 Arona (NO)  
tel: 0322-249700 - fax: 0322-240800  
E-mail: ise@tera.it  
www.iseonline.it

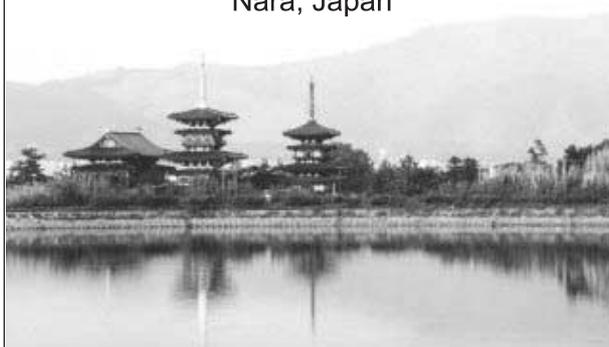
**ARPA Piemonte - Dip. Ivrea**

**Att.ne Sig.ra M. Clotilde Pesando**  
Via Jervis, 30 - 10015 Ivrea TO  
tel. 0125/6453502 - fax: 0125/6453584  
email: m.pesando@arpa.piemonte.it  
www.arpa.piemonte.it



**7th International Conference on  
Atomically Controlled Surfaces,  
Interfaces and Nanostructures**

November 16 - 20, 2003  
Nara, Japan



**For further information:**

**Mitsuhiro Katayama**

Secretary of ACSIN-7  
Department of Electronic Engineering, Graduate School of  
Engineering, Osaka University  
Suita, Osaka 565-0871, Japan  
Phone: +81-6-6879-7776  
Fax: +81-6-6879-7780  
E-mail: acsin7@ele.eng.osaka-u.ac.jp  
web-site: <http://cobalt.ele.eng.osaka-u.ac.jp/acsin7/>



**SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARTICLE AND FUNDAMENTAL PHYSICS IN SPACE  
WASHINGTON DC  
DECEMBER 10TH TO DECEMBER 12TH, 2003**

**For further information:**

Prof. Kate Scholberg  
MIT 44-124  
Cambridge 02139  
MA  
United States  
E-mail: [schol@mit.edu](mailto:schol@mit.edu)  
web:<http://pierre.mit.edu/SpacePart03/>  
Tel: 617-253-8564  
Fax: 617-253-4100

# Fondazione "Angelo Della Riccia"

Fondazione Italiana eretta in Ente morale con  
R.D. 19.07.41 n° 979 con sede in Firenze

## Bando per l'anno accademico 2003/2004

Il Consiglio di Amministrazione della Fondazione sopra indicata ha deliberato di mettere a concorso a favore di giovani italiani studiosi di microfisica, che nell'anno accademico 2003/04 intendano recarsi all'estero per studi e ricerche e necessitino di sovvenzioni per tutto o parte del loro fabbisogno, la somma di

**Euro 200.000,00**

con assegnazione direttamente nel Paese in cui verrà svolta l'attività di studio o di ricerca.

Gli aspiranti dovranno inviare all'indirizzo della Fondazione, **50123 Firenze Casella Postale 38**, non oltre il termine improrogabile del **30 Settembre 2003** (fa data il timbro postale), una domanda in carta semplice corredata da:

- dichiarazione sottoscritta di essere cittadino italiano residente in Italia, di non avere riportato condanne penali e di non aver procedimenti penali in corso, di avere già assolto gli obblighi militari o di esserne esente per tutto il periodo in cui intende usufruire dell'assegnazione,
- curriculum scientifico documentato da pubblicazioni ed ogni altro elemento che sia ritenuto utile allo scopo (tutto il materiale rimarrà agli atti della Fondazione),
- piano di attività che si intende svolgere all'estero, con l'indicazione del centro di studi prescelto, della prevedibile durata del soggiorno, del preventivo di spesa e della percentuale approssimativa della stessa cui il candidato possa far fronte con altre borse di studio, sovvenzioni o stipendi,
- lettera di accettazione dell'Istituto estero presso il quale si intende svolgere gli studi.

Inoltre dovrà essere inviato via rete, sempre entro la improrogabile data del **30 settembre 2003**, il **modulo** reperibile all'indirizzo <http://arturo.fi.infn.it/casalbuoni/dellariccia/> **La mancanza di tale modulo è motivo di esclusione dal concorso.** Copia del modulo inviato via rete dovrà essere allegata alla documentazione inoltrata via posta.

Gli aspiranti che abbiano già usufruito di un contributo da parte della Fondazione italiana o della omonima Fondazione svizzera sono pregati di indicarne nella domanda l'ammontare e l'anno e sono invitati ad unire alla richiesta un sintetico consuntivo dei risultati conseguiti. Per Statuto la sovvenzione non può essere accordata più di due volte eccezion fatta per coloro che intendono conseguire il dottorato di ricerca all'estero, nel qual caso il Comitato scientifico potrà concedere la sovvenzione una terza volta. I sussidi ottenuti devono essere utilizzati entro il **31 Dicembre 2004**. La Fondazione procede all'assegnazione sulla base dei giudizi insindacabili espressi dal Comitato scientifico che esamina i progetti di lavoro e di ricerca presentati dai candidati verificandone la rispondenza con gli scopi e con le disposizioni statutarie dell'Ente. Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito della Fondazione <http://arturo.fi.infn.it/casalbuoni/dellariccia/>

Firenze, 30 aprile 2003

Il Presidente della Fondazione  
Prof. Roberto Casalbuoni  
dell'Università di Firenze

**2002**

**DOMANDA DI ISCRIZIONE ALLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA**

Nome \_\_\_\_\_

Cognome \_\_\_\_\_

Data di nascita \_\_\_\_\_

① Istituto o Ente di Appartenenza \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

② Indirizzo privato \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

③ Indirizzo e-mail \_\_\_\_\_

Breve curriculum (titolo di studio, attività didattica e scientifica)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza ① ②

Firme leggibili dei Soci Presentatori

Nome in stampatello

1) \_\_\_\_\_

2) \_\_\_\_\_

Socio individuale: euro 45

Socio al di sotto dei 30 anni: – PRIMA ISCRIZIONE GRATUITA

– rinnovo euro 30

Socio membro di altre Associazioni Scientifiche (AIF, AIFM, SATT, SIGRAV, SIOF): euro 30

Socio collettivo: Euro 260

Socio sostenitore: (a partire da) Euro 310

*La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda.*

Data \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

## QUOTE SOCIALI E ABBONAMENTI 2003

Quota di associazione alla Società Italiana di Fisica:

- |  |  |
|--|--|
| Socio individuale  | <input type="checkbox"/> € 45,00                 |
| Socio al di sotto dei 30 anni<br>(prima iscrizione gratuita)                       | <input type="checkbox"/> € 30,00                 |
| Socio membro di altre Associazioni Scientifiche<br>(AIF, AIFM, SAIT, SIGAAU, SIOF) | <input type="checkbox"/> € 30,00                 |
| Socio collettivo   | <input type="checkbox"/> € 260,00                |
| Socio sostenitore  | (a partire da) <input type="checkbox"/> € 310,00 |

Quote di abbonamento ai periodici della Società Italiana di Fisica:

	<b>soci</b>	<b>non soci</b>
Il Nuovo Cimento B	<input type="checkbox"/> € 503,54	<input type="checkbox"/> € 664,68
Il Nuovo Cimento C	<input type="checkbox"/> € 255,12	<input type="checkbox"/> € 322,27
Rivista del Nuovo Cimento	<input type="checkbox"/> € 268,55	<input type="checkbox"/> € 349,13
 Abbonamento cumulativo alle 3 riviste	 <input type="checkbox"/> € 873,14	 <input type="checkbox"/> € 1135,67
 Giornale di Fisica	 <input type="checkbox"/> € 64,00	 <input type="checkbox"/> € 80,00
Quaderni di storia della Fisica		
Per gli iscritti all'A.I.F. (*)		<input type="checkbox"/> € 64,00
(*) Queste quote debbono pervenire tramite la segreteria dell'A.I.F.		
 Il Nuovo Saggiatore		 <input type="checkbox"/> € 68,00

Per quote associative e abbonamenti compilare questa cedola con il Vs. indirizzo esatto:

Cognome e Nome  
o Ente

.....

.....

.....

Via

.....

C.A.P.

.....

Citt

.....

Partita IVA

.....

**Totale**

.....

Modalità di pagamento:

- a mezzo assegno bancario  
 a mezzo versamento sul c/c n. 19197409 -  
 Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.  
 Via Saragozza 12, 40123 Bologna  
 a mezzo carta di credito:



(sbarrare il simbolo desiderato)

Carta n. ....

Data di scadenza .....

Data ..... Firma.....