

## Curriculum vitae et studiorum di Paolo W. Cattaneo

- Nato a Desio(MI) il 05-09-1963
- Maturità scientifica con votazione di 60/60 nel 1982 al Liceo scientifico D. Bramante a Magenta (MI)
- Iscritto al corso di laurea in fisica dell'Università statale di Milano nell'anno accademico 1982/1983
- Prestato servizio di leva nell'esercito dal 10-12-1982 al 7-12-1983
- Nel Novembre 1986 inizia la tesi di laurea con il Prof. P.F. Manfredi presso il Dipartimento di Elettronica dell'Università di Pavia e con il Dr. G. Lutz presso il Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Werner-Heisenberg-Institut für Physik di Monaco di Baviera (BRD) sullo sviluppo di rivelatori al silicio ed elettronica integrata per il rivelatore a microstrip a doppia faccia di ALEPH
- Tra il 16-03-1987 e il 15-11-1987 contratto di collaboratore a tempo parziale presso il Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Werner-Heisenberg-Institut für Physik di Monaco di Baviera (BRD), mirato alla realizzazione del rivelatore su citato.
- Il 24-11-1987 diploma di laurea in fisica presso l'Università di Milano con votazione di 110/110 e lode con Tesi di laurea Analisi modellistica e caratterizzazione sperimentale di un rivelatore di vertice a microstrip per un collider  $e^+e^-$ , con relatore interno il Prof. G. Bellini, relatore esterno il Prof. P.F. Manfredi e correlatore il Dr. G. Lutz
- Collaboratore del Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Werner-Heisenberg-Institut für Physik dal 1-12-1987
- A partire dal 01-01-1988 contratto triennale presso il Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Werner-Heisenberg-Institut für Physik finalizzato a conseguire una tesi di dottorato in fisica presso la Ludwig-Maximilian-Universität a Monaco di Baviera (BRD), con tema la fisica degli Heavy-Flavour all'esperimento ALEPH.
- Unpaid associated presso la divisione PPE del CERN dal Gennaio 1988
- Il 16-12-1990, presa di servizio come ricercatore di fascia iniziale presso la sezione dell'INFN di Pavia
- Il 14-12-1990 firma il proposal della collaborazione RD16 (FERMI), una collaborazione internazionale mirata a sviluppare elettronica veloce per calorimetria
- Fine del 1990, inizio della collaborazione con RD1, una collaborazione mirata a sviluppare la calorimetria a fibre scintillanti
- Fine del 1991, inizio della collaborazione con NOMAD, un esperimento basato al CERN per la misura delle oscillazioni del  $\nu_\mu$  in  $\nu_\tau$
- Professore a contratto per l'anno accademico 1992/1993 presso l'Università di Pavia per lo svolgimento del corso integrativo di Introduzione ai rivelatori a stato solido nella fisica delle alte energie e alla relativa elettronica di lettura nell'ambito dell'insegnamento ufficiale di Fisica dei neutroni
- Iscritto al corso di laurea in matematica dell'Università di Pavia nell'anno accademico 1992/1993

- A partire dal 1993 referee per la rivista internazionale IEEE Transaction on Nuclear Science su articoli riguardanti la fisica dei rivelatori a semiconduttore.
- Il 18-07-1994 discussione della tesi di dottorato col titolo Measurement of the b hadron lifetime with the dipole method at the ALEPH experiment presso la Ludwig-Maximilian-Universitat con una commissione presieduta dal Prof. R. Ruckl e nomina di Doktor Rerum Naturae con la votazione magna cum laude
- Il 02-06-1994 eletto rappresentante del personale con profilo di ricercatore in consiglio di sezione, con decorrenza a partire dal 06-06-1994
- Fine del 1995, inizio della collaborazione con TERA, una collaborazione mirata alla costituzione di un centro di terapia adronica in Italia, col fine di progettare un sistema di centramento automatico del fascio mediante radiografia digitale basata su rivelatori a semiconduttori
- Nell'anno accademico 1994/1995 ha assistito come correlatore lo studente Paolo Tiraboschi nella preparazione della tesi di laurea dal titolo: Elaborazione elettronica di segnali provenienti da rivelatori nucleari, relatore Prof. M. Cambiaghi.
- Nell'anno 1996 viene ammesso all'orale dei concorsi 5448/95 e 5450/95 per primo ricercatore dell'INFN.
- Nell'anno accademico 1995/1996 ha assistito come correlatore la studentessa Gabriella Pasquali nella preparazione della tesi di laurea dal titolo: Studio di fattibilità per l'acquisizione rapida di immagini radiografiche con rivelatori a stato solido, relatori Prof. M. Cambiaghi, Prof. D. Scannicchio.
- Il 15-01-1997 diploma di laurea in matematica presso l'Università di Pavia con votazione di 110/110 e lode con Tesi di laurea Evoluzione di superfici. Studio teorico e computazionale di alcune funzioni di energia, con relatore il Prof. S. Demichelis.
- Giugno 1997, inizio della collaborazione con COMRAD, un esperimento mirato a studiare gli effetti delle radiazioni su componenti elettronici.
- Novembre 1998, inizio della collaborazione con AUGER, un esperimento mirato a studiare raggi cosmici ad altissima energia con un rivelatore ibrido costituito da un array di rivelatori Cerenkov e da rivelatori di fluorescenza.
- Nell'anno 1999 viene ammesso all'orale dei concorsi 7427/99 e 7429/99 per primo ricercatore dell'INFN.
- Nell'anno 2001 viene ammesso all'orale dei concorsi 8679/01 e 8681/01 per primo ricercatore dell'INFN.
- Nell'anno 2001 diventa responsabile locale dell'esperimento AUGER
- Settembre 2002, inizio della collaborazione con MEG, un esperimento mirato a studiare il decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$
- Nell'anno 2003 viene ammesso all'orale dei concorsi 9725/2003 e 9727/2003 per primo ricercatore dell'INFN.
- Gennaio 2004, inizio della collaborazione con AGILE, un esperimento su satellite per lo studio dei raggi  $X - \gamma$
- Nell'anno 2005 viene ammesso all'orale dei concorsi 10669/2005 e 10671/2005 per primo ricercatore dell'INFN.

- Novembre 2007, inizio tutoraggio dello studente di dottorato Dr. Fabrizio Boffelli per la tesi The on-ground calibration of AGILE satellite and the study of Very High Energy gamma-ray sources. Questa tesi sarà discussa alla fine del 2008 e premiata nel 2009 con il Premio Bruno Rossi 2009 dell'INFN.
- Nell'anno 2008 diventa responsabile locale dell'esperimento AGILE
- Nell'anno 2008 diventa responsabile locale dell'esperimento MEG
- Nell'anno 2008 viene ammesso all'orale dei concorsi 12396/2007 e 12398/2007 per primo ricercatore dell'INFN. Di quest'ultimo risulta tra i vincitori.  
Prende servizio come Primo Ricercatore alla sezione di Pavia con decorrenza il 1° Gennaio 2007.
- A partire dal 2010 referee per la rivista internazionale Vacuum su articoli riguardanti la fisica degli acceleratori.
- A partire dal 2010 referee per la rivista internazionale Journal of Electromagnetic Waves and Applications su articoli con applicazioni basate sulle applicazioni conformi
- A partire dal 2012 referee per la rivista internazionale Sensors su articoli riguardanti i sensori per satelliti.
- Il team AGILE riceve il premio Bruno Rossi per l'astrofisica delle alte energie con la seguente motivazione The 2012 Rossi Prize has been awarded to astrophysicist Marco Tavani and the AGILE team for the discovery of gamma-ray flares from the Crab Nebula. Long thought to be a steady source of energy - from optical to gamma rays - this finding has changed the understanding of this very important cosmic object.
- Nel 2013 e' riceve un giudizio positivo per l'Abilitazione Scientifica Nazionale alle funzioni di professore di prima fascia nel settore concorsuale 02/A1 (Fisica sperimentale delle Interazione Fondamentali)
- Nell'anno 2013 diventa responsabile locale dell'esperimento GAMMA400
- Nell'anno 2013 diventa responsabile locale dell'esperimento CaloCube
- Professore a contratto per l'anno accademico 2014/2015 presso l'Università di Pavia per lo svolgimento del corso di Astronomia
- Professore a contratto per l'anno accademico 2015/2016 presso l'Università di Pavia per lo svolgimento del corso di Astroparticelle

## Conferenze e scuole

Nel giugno del 1989 ha frequentato la scuola di fisica CERN-JINR del 1989 a Egmond aan Zee, Olanda.

Ha inoltre preso parte alle seguenti conferenze:

5th European Symposium on semiconductor detectors, Munich, FRG 21-23 Febbraio 1989.

2nd International Conference on advanced technology and particle physics, Como, Italia, 11-15 June 1990.

European Committee for Future Accelerator, Large Hadron Collider Workshop, Aachen, BRD, 4-9 October 1990.

Terzo meeting elettronica integrata per la fisica delle alte energie, INFN. Isola del Giglio, 8-10 Giugno 1992.

LXXVIII Congresso nazionale della Società italiana di fisica, Pavia 5-10 Ottobre 1992.

Workshop su Prospettive del VLSI nella fisica delle alte energie, Genova, 22 Gennaio 1993.

4th International conference on calorimetry in high energy physics, Elba, Italia, September 1993.

Quarto meeting elettronica integrata per la fisica delle alte energie, INFN. Isola del Giglio, 28-30 Maggio 1993.

LXXIX Congresso Nazionale della Società italiana di fisica, Udine 27 Settembre-2 Ottobre 1993.

1st International conference on Phenomenology of Unification from Present to Future, Roma, Italia, 23-26 March 1994.

Ecole d'ete de Physique des particules, IPN, Lyon, 15-19 Settembre 1997.

Neutrino Oscillation Workshop NOW 2008, Otranto, 6-13 Settembre 2008.

IEEE Nuclear Science Symposium 2008, Dresda, 18-25 Ottobre 2008.

The 1<sup>st</sup> international conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics, TIPP09, Tsukuba, 11-16 Marzo 2009.

Rome International Conference on Astro-Particle Physics, RICAP 2009, Monte Porzio Catone (Roma), 13-15 Maggio 2009.

11<sup>th</sup> European Symposium on Semiconductor Detectors, Wilbad Kreuth (Bayern, BRD), 1-11 Giugno 2009.

International conference on Neutrino Physics in the LHC era, Luxor, Egypt, 15-19 Novembre 2009.

12th Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors (IPRD10), Siena, Italy, 7-10 June 2010.

24th Rencontres de Blois Particle Physics and Cosmology, Blois, France, May 27-June 1, 2012.

9th Workshop on Science with the New Generation of High Energy Gamma-ray Experiments (SCINEGHE), Lecce, Italy, 20-22 June 2012.

International Conference on New Frontiers in Physics 2013, Creta, Greece, 31 Agosto-5 Settembre 2013.

2nd FAST annual meeting, FBK (Fondazione Bruno Kessler) - Scientific and Technological Hub, Italy, 16-18 Marzo 2016.

# 1 Curriculum dell'attività svolta

## 1.1 Esperimento ALEPH

ALEPH è uno dei quattro esperimenti progettati per lo studio delle interazioni  $e^+e^-$  sul picco della  $Z^0$  al LEP. Ho iniziato a lavorare ad ALEPH durante la mia tesi di laurea [4], dove mi sono dedicato allo studio teorico e sperimentale del rivelatore a microstrip al silicio a doppia faccia. Dal 1-1-1988, mi sono unito ufficialmente alla collaborazione come studente di dottorato, presso il Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik.

Ho lavorato a vari argomenti dell'hardware, del software offline e della fisica di ALEPH fino al 16-12-1990, data della mia presa di servizio presso la sezione INFN di Pavia.

In seguito ho proseguito la mia collaborazione con ALEPH a tempo parziale, dedicandomi all'analisi dati per misurare la vita media degli adroni  $b$  e al supporto del codice di simulazione Monte Carlo del rivelatore di minivertice.

Questa attività è culminata nella pubblicazione di [1], articolo di cui sono il principale autore, e nella tesi di dottorato [13].

### 1.1.1 Studio del danneggiamento da radiazione

A partire dal 1987 mi sono occupato a più riprese di studiare la resistenza alla radiazione X e  $\gamma$  dell'elettronica di lettura e dei rivelatori usati nel rivelatore di vertice di ALEPH.

I risultati sono stati pubblicati sia nel contesto di articoli generali sul rivelatore di minivertice [2, 3, 10] che in lavori dedicati [7, 9].

Ho sviluppato un originale sistema di calibrazione per mezzo di diodi PIN di silicio, che è descritto in [6].

### 1.1.2 Simulazione Monte Carlo del rivelatore di minivertice

Durante la tesi di laurea il mio contributo più originale è stato lo studio della propagazione del segnale e del rumore in rivelatori a microstrip, con particolare riguardo all'influenza dell'accoppiamento capacitivo tra gli elettrodi. Applicando una tecnica di calcolo di capacità facente uso di trasformazioni conformi del piano complesso, ho calcolato alcune delle capacità tra elettrodi. Sulla base di questi calcoli, ho sviluppato un modello di rivelatore a microstrip basato su SPICE, che permette di ottenere, diverse quantità rilevanti per la propagazione del segnale e del rumore. Alcune misure sperimentali di capacità su rivelatori a microstrip sono state comparate ai risultati della simulazione, trovando un buon accordo.

In seguito questi calcoli sono stati raffinati e pubblicati in [5]. L'articolo è stato ripreso più volte in seguito nella letteratura e rappresenta uno dei maggiori riferimenti per il calcolo di capacità in rivelatori a microstrip.

Questi calcoli sono stati inseriti nel programma di simulazione del rivelatore di minivertice integrato nel software di ALEPH basato su GEANT3.

Questa simulazione è stata testata in dettaglio con un accordo con i dati assai soddisfacente ed è stata utilizzata anche per la simulazione del rivelatore di minivertice per LEP200.

Molti degli algoritmi usati in questo programma sono discussi in una trattazione generale della propagazione del segnale e del rumore in un rivelatore a microstrip in [12].

### 1.1.3 Misura della vita media degli adroni $b$

Come analisi per la tesi di dottorato ho scelto la misura della vita media degli adroni  $b$ , per cui il rivelatore di minivertice è cruciale.

Il metodo è basato sul metodo di dipolo, sviluppato da TASSO, che utilizza tutti gli eventi adronici, dividendo l'evento in due jets lungo l'asse di thrust, e misura per ogni evento la distanza tra le medie dell'intersezioni dei jets lungo l'asse.

I suoi vantaggi sono una elevata potenza statistica, l'indipendenza dalla conoscenza della posizione del vertice dell'evento e delle proprietà dei decadimenti semileptonici del  $b$ .

Quest' ultima proprietà ha permesso di fornire un'analisi di precisione comparabile ad altre con errori sistematici quasi completamente indipendenti.

L'analisi è stata realizzata sui dati 1990-1991 dal sottoscritto soltanto ed è stata pubblicata in [1]. Dopo la pubblicazione l'analisi è stata inserita nella tesi di dottorato [13].

## Riferimenti bibliografici

- [1] ALEPH Collab., D.Buskulic et al., Measurement of the  $b$  hadron lifetime with the dipole method, Physics Letters B 314 (1993) 459
- [2] H. Becker et al., Readout of doublesided silicon strip detector with high density integrated electronics, IEEE Transaction on nuclear science, Vol.36, No.1. 1989 246
- [3] W.Buttler et al., A low noise-low power CMOS chip for readout of silicon strip detectors, ICFA Instrumentation bulletin, No.5 No.5 September 1988
- [4] Paolo W. Cattaneo, Tesi di Laurea, Model analysis and experimental characterization of a microstrip vertex detector for a  $e^+e^-$  collider, MPI-PAE/Exp. El. 210 September 1989
- [5] Paolo W. Cattaneo, Capacitance calculation in a microstrip detector and its application to signal processing, Nuclear Instruments and its application to signal processing, Nuclear Instruments & Methods A295 (1990) 207-218
- [6] Paolo W. Cattaneo, Calibration procedure for irradiation tests on silicon devices, MPI-PAE/Exp. El. 223 May 1990 and IEEE Transaction for Nuclear Science, Vol.38, No.3. 1991 894
- [7] Paolo W. Cattaneo et al., Radiation hardness tests on the read out electronics chain of the ALEPH minivertex detector, Contribution to the 2nd International Conference on advanced technology and particle physics, Como, Italy, 11-15 June 1990, Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 23A (1991) 313-318
- [8] G. Batignani et al., The ALEPH silicon vertex detector, 2nd International Conference on advanced technology and particle physics, Como, Italy, 11-15 June 1990, Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 23A (1991) 291-296
- [9] Paolo W. Cattaneo, Radiation hardness of semiconductor detectors and read out electronics for the ALEPH minivertex detector, ECFA Large Hadron Collider Workshop, Aachen, BRD, 4-9 October 1990, CERN 90-10, ECFA 90-133 Volume III, 749-757, 3-Dec-1990, Editors: G.Jarlskog, D. Rein
- [10] G. Batignani et al., Operational experience with a large detector system using silicon strip detectors with double sided readout, VI European Symposium on semiconductor detectors, Milan, Italy, 24-26 February 1992, Nuclear Instruments & Methods A 326 (1993) 183
- [11] B. Mours et al., The design construction and performance of the ALEPH silicon vertex detector, Nuclear Instruments & Methods A379 (1996) 101-115.
- [12] Paolo W. Cattaneo, Noise and signal processing in a microstrip detector with a time variant readout system, Nuclear Instruments & Methods A359 (1995) 551-558.
- [13] Paolo W. Cattaneo, Tesi di Dottorato, Measurement of the  $b$  hadron lifetime with the dipole method at the ALEPH experiment, Dissertation : Ludwig Max. Univ. München, EX-MPI-PhE-95-21.

## 1.2 FERMI (RD16)

FERMI (RD16) è una collaborazione sorta alla fine del 1990, per progettare un sistema di lettura e di trattamento del segnale per calorimetria per LHC [1].

Il punto focale del sistema è un ADC veloce preceduto da un compressore analogico capace di campionare il segnale in uscita dal rivelatore ad alta frequenza. I campioni sono processati da filtri digitali che stimano l'energia e il tempo dell'evento e li accumulano in una memoria locale. Il sistema è inoltre dotato di un microcontroller per comunicare con i trigger.

In una prima fase ho scritto del programma di simulazione del sistema, che era una delle milestone richieste al progetto. Questo programma è stato utilizzato per definire i parametri di progettazione del sistema, in particolare i filtri digitali e gli algoritmi usati nelle analisi.

In seguito mi sono dedicato alla preparazione del test beam dei primi prototipi di FERMI collaborando all'hardware e al software di acquisizione. Ho poi coordinato l'analisi dei dati di test beam e sviluppando algoritmi originali per l'analisi di dati campionati. Alcuni di questi algoritmi sono stati poi pubblicati su riviste specializzate.

### 1.2.1 Programma di simulazione di sistema

Il programma di simulazione del sistema è stata uno delle milestone richieste in fase di approvazione. Il programma è stato progettato per stimare l'influenza dei molti parametri liberi del sistema sulla precisione di rivelazione.

L'idea base del programma è di simulare la catena di lettura di un calorimetro come una serie di blocchi rappresentati da funzioni di trasferimento attraverso i quali si propaga un segnale.

I blocchi principali della parte analogica sono il rivelatore, il preamplificatore, il filtro, il compressore analogico e l'ADC. Ognuno di questi blocchi ha numerosi parametri regolabili. Nella parte digitale sono simulati i filtri digitali.

Il programma è stato utilizzato per lo studio di algoritmi di analisi e per la progettazione dei filtri digitali che ottimizzino le prestazioni del sistema in presenza di rumore, pile-up e jitter.

Ho collaborato con uno specialista di signal processing nella progettazione dei filtri e la simulazione è stata utilizzata sia per testare gli algoritmi che come materiale d'insegnamento a programmi che calcolavano automaticamente i filtri. Questo lavoro è descritto in [3] e in altre pubblicazioni specialistiche.

### 1.2.2 Misure sotto fascio dei prototipi e analisi dati

Nel corso del 1994, alcuni prototipi della parte analogica sono stati prodotti e si è organizzato un test beam con i prototipi dei calorimetri di ATLAS: acordeon ad argon liquido e tiles ferrosintillatore.

Nel test beam ho coadiuvato un collega alla scrittura della DAQ stand-alone con cui FERMI ha acquisito dati. In particolare ho scritto il programma di monitor e di display on-line. Ho tenuto i contatti con il gruppo delle tiles per quanto riguarda l'hardware di connessione tra FERMI e la loro elettronica, che ha reso possibile acquisire dati in parallelo con l'acquisizione di FERMI e quella del calorimetro. Ho infine collaborato alla installazione dell'hardware e alla presa dati. Ho analizzato i dati del calorimetro acordeon, e ho collaborato alla analisi di quelli del calorimetro a tiles. Nel fare ciò ho applicato l'esperienza acquisita nel campo del trattamento del segnale allo sviluppo di algoritmi originali per la trattazione dei dati campionati.

I risultati dell'analisi sono stati raccolti in tre note interne di FERMI e in una di ATLAS.

Quest'analisi mi ha stimolato ad affrontare in maniera formale il problema del filtro ottimo in presenza di jitter che ho trattato in [4].

FERMI ha preso dati anche nel 1995 con il prototipo del calorimetro a tiles di ATLAS. Ho coordinato l'analisi in collaborazione con un gruppo di Stoccolma, che mi ha invitato a tenere un seminario nel Novembre 1995. L'analisi ha richiesto lo sviluppo di algoritmi innovativi per il calcolo delle look-up table. In questo contesto ho ideato l'approccio basato sulla similitudine

delle forme d'onda che si è dimostrato il più valido.

Con questi sviluppi, l'analisi ha provato che FERMI è una soluzione adeguata per l'elettronica di lettura del rivelatore sotto esame. Le collaborazioni FERMI e tiles mi hanno dato l'incarico di editor per la sua pubblicazione su rivista avvenuta in [5].

Sulla base di queste analisi, FERMI è stato selezionato come l'opzione di base per l'elettronica di lettura dei calorimetri di CMS.

In seguito le tecniche di ricostruzione della forma d'onda e di calcolo della look-up table sono state elaborate in dettaglio e pubblicate in [6] e l'altra in [7].

## Riferimenti bibliografici

- [1] B. Lofstedt et al., A digital front-end and readout microsystem for Calorimetry at LHC, CERN-DRDC/90-74, DRDC/P 19, December 14, 1990
- [2] A. Dell'acqua et al., A digital front-end and readout microsystem for calorimetry at LHC, IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol.40, No.4, (1993) 516-531
- [3] H. Alexanian et al., Optimized digital feature extraction in the FERMI microsystem, Nuclear Instruments & Methods A357 (1995) 318-328.
- [4] Paolo W. Cattaneo, Optimum FIR filter for sampled signals in presence of jitter, Nuclear Instruments & Methods A373 (1996) 93-96.
- [5] Z. Ajaltouni et al., Evaluation of Fermi read-out of the Atlas Tilecal prototype, Nuclear Instruments & Methods A403 (1998) 98-114.
- [6] P.W. Cattaneo, A technique for shape reconstruction for nuclear electronic signals in sampled systems, Signal Processing Vol.72, No. 2 (1998) 117.
- [7] P.W. Cattaneo, A technique based on pulse shape comparison for linearizing compressed signals, Nuclear Instruments & Methods A481 (2002) 529-537.



### 1.3 SPACAL (RD1)

La collaborazione RD1 si è formata nel 1990 con l'obiettivo di proseguire lo sviluppo della calorimetria a fibre scintillanti, in particolare finalizzata al suo impiego ai futuri collider adronici. Mi sono unito alla collaborazione alla fine del 1990 e ho collaborato alla presa dati su test beam nel 1991 e 1992. Questi test beam sono stati indirizzati alla ottimizzazione del progetto del calorimetro per l'uso nei futuri collider adronici. I risultati sono stati presentati in [1]-[2].

La mia attività si è indirizzata principalmente alla progettazione dell'elettronica di lettura da accoppiare ai fotorivelatori sotto studio (Hybrid Photon Detector, Avalanche Photo Diodes) per l'uso del calorimetro in campi magnetici.

Ho svolto test in laboratorio su prototipi di circuiti già esistenti e ho adattato il programma di simulazione del readout sviluppato nel contesto di FERMI per studiare i parametri ottimali del readout di SPACAL, sia per la formatura analogica dell'impulso, che per il filtraggio digitale realizzato da FERMI.

All'interno di questa attività, ho coordinato per circa un anno il gruppo di readout di SPACAL e sono stato invitato a Marsiglia a tenere un seminario sui problemi del readout per calorimetria.

### Riferimenti bibliografici

- [1] J. Badier et al., Test results of an electromagnetic calorimeter with 0.5 mm scintillating fibers readout, Nuclear Instruments & Methods A337 (1994) 314-325.
- [2] J. Badier et al., Test results of a fully projective lead/scintillating fiber calorimeter, Nuclear Instruments & Methods A337 (1994) 326-341.

## 1.4 NOMAD

NOMAD è un esperimento per lo studio delle oscillazioni  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  al fascio di neutrini del SPS al CERN basato su rivelatori elettronici, immersi in un campo magnetico da 0.4T.

Una importante parte dell'apparato è il calorimetro elettromagnetico, che serve sia all'identificazione dell'elettrone, sia alla rivelazione dei  $\gamma$  necessari alla misura del missing  $p_T$ , che deve essere letto all'interno del campo magnetico.

Il calorimetro è costituito da blocchi di lead glass, molto preciso e facile da mantenere, ma che richiedono la lettura di fotorivelatori in campo magnetico. Ci si è orientati a speciali tubi a pochi stadi, scegliendo dei tetrodi prodotti dall'Hamamatsu.

Fin dalle prime fasi ho preso parte, in collaborazione con altri colleghi, allo sviluppo e al test dei tubi e dell'elettronica di lettura. Ho poi contribuito ad installare e mantenere l'elettronica di lettura nei beam tests e nell'esperimento.

Successivamente, ho contribuito all'online di NOMAD lavorando al monitor e all'offline lavorando al software di ricostruzione e prendendo la responsabilità di varie parti del programma. Sono stato run coordinator dell'esperimento per tre settimane durante la presa dati del 1998.

Nel corso dell'analisi in [2], ho preso parte alla discussione sull'interpretazione dei risultati sperimentali, proponendone una differente interpretazione, riportata in [3].

### 1.4.1 Progettazione e realizzazione dell'elettronica di lettura del calorimetro elettromagnetico

Il sistema di lettura del calorimetro di NOMAD è basato su tetrodi capaci di lavorare in campo magnetico letti da preamplificatori di carica seguiti da filtri [1]. Il sistema è basato su quello usato da DELPHI, ma alcune modifiche si sono rese necessarie. Assieme ad altri colleghi, ho quindi realizzato i test sia in laboratorio che in test beam, per verificarne la funzionalità alle nostre esigenze dal punto di vista del rumore e del range dinamico, ho fatto un'analisi di rumore per la ricerca del tempo ottimale di formatura e studiato le relative modifiche hardware per il filtro. Analogamente ho proposto e realizzato alcune modifiche al preamplificatore per minimizzare il rumore e aumentare il range dinamico. In parallelo ho suggerito l'introduzione di un circuito peak sensitive all'ingresso degli ADC e ho collaborato a testarlo nel test beam. Ho poi seguito a più riprese la installazione dell'hardware sui test beam e sull'esperimento.

### 1.4.2 Partecipazione alla DAQ

All'inizio della presa dati del 1994, ho cominciato a svolgere alcuni compiti on-line all'interno di NOMAD. Ho scritto un programma per la gestione dinamica degli istogrammi per il monitor e ho svolto alcune volte il compito di DAQ on-call per i testbeam del calorimetro.

Alla fine del 1994, mi sono unito al gruppo degli esperti on-line di NOMAD e come tale sono stato periodicamente on-call per la DAQ dell'esperimento. In questa veste ho acquisito l'esperienza necessaria per svolgere il ruolo di run coordinator nel 1998.

In collaborazione con altri due colleghi, mi sono occupato della struttura generale del programma di monitor in NOMAD, che consiste di una finite state machine, che tiene le comunicazioni con il run controller e chiama routines fornite dagli utenti. Esistono due programmi distinti di monitor, uno per i rivelatori, uno per la DAQ stessa e per programmi speciali. Io mi sono occupato in particolare di quest'ultima versione.

Sempre nell'ambito del monitor, ho collaborato con i responsabili dei monitor dei rivelatori per la realizzazione delle routines utenti e ho assunto la responsabilità diretta del programma di monitoring del fascio.

### 1.4.3 Partecipazione alla scrittura del programma di ricostruzione

Dall'inizio del 1995, mi sono dedicato al programma di ricostruzione di NOMAD. Ho collaborato al programma di match tra tracce e cluster calorimetrici e al programma per allineare il

calorimetro utilizzando le tracce.

In seguito ho assunto la responsabilità del programma di estrapolazione delle tracce, che é un ingrediente fondamentale del programma di ricostruzione nelle camere a deriva che sono il rivelatore di tracciamento principale, di parte del programma di ricostruzione del calorimetro e del programma del campo magnetico.

Il programma di estrapolazione ha richiesto un lungo lavoro per soddisfare le esigenze dell'esperimento in particolare per quanto riguarda l'extrapolazione attraverso regioni con un campo magnetico complesso e l'extrapolazione all'indietro.

Infine ho esteso un programma d'analisi preesistente arricchendolo di funzioni d'accesso e della possibilità di chiamare l'extrapolatore. Questo programma è stato ampiamente utilizzato per le analisi.

## Riferimenti bibliografici

- [1] D. Autiero et al., The electromagnetic calorimeter of the NOMAD experiment, Nuclear Instruments & Methods A373 (1996) 358-373.
- [2] J. Altegoer et al., Search for a new gauge boson in  $\pi_0$  decays, CERN-EP/98-047, Physics Letters B 428 (1998) 197.
- [3] P.W. Cattaneo, Decay width in  $e^+e^-$  of a new light gauge boson, Nuovo Cimento A, Vol. 111 No. 12 (1998).

## 1.5 Studi di fisica dei rivelatori a stato solido e problematiche di trattamento del segnale

Nel corso del lavoro sul rivelatore di miniverice di ALEPH, ho approfondito alcuni aspetti della fisica dei rivelatori a stato solido e le problematiche di signal processing applicate alla loro lettura, pubblicando alcuni contributi [1, 4].

Durante la scrittura del programma di simulazione di FERMI, è sorto il problema del calcolo della forma del segnale di corrente da un rivelatore di silicio. Questo problema era già stato risolto nell'ipotesi di relazione lineare tra velocità e campo elettrico o nel modello di velocità costante. Lo ho affrontato nella realistica ipotesi di relazione lineare a bassi campi con saturazione a campi elevati e risolto sotto forma di una equazione implicita, le cui soluzioni approssimate ho discusso in dettaglio fornendo un algoritmo valido per tutti i valori delle variabili [2].

Stimolato da alcune letture in letteratura, ho affrontato lo stesso problema in rivelatori cilindrici al germanio per i quali il problema è molto più rilevante a causa della molto maggiore dimensione e del conseguente tempo di drift più lungo. Questo problema era già stato affrontato in letteratura, ma mai analiticamente con la relazione più usata tra campo elettrico e velocità. Il problema si riduce ancora a una equazione implicita, questa volta parametrica, di cui vengono discussi i vari algoritmi di soluzione per differenti range di variabili [3].

Un problema di trattamento del segnale, che si presenta frequentemente, è l'ottimizzazione del rapporto segnale rumore in presenza di vincoli sulla funzione di trasferimento. Un approccio originale e di carattere generale è presentato in [5] facendo uso di tecniche di analisi funzionale. L'argomento del calcolo delle capacità in un rivelatore a microstrip è stato ripreso e migliorato in [6].

## Riferimenti bibliografici

- [1] Paolo W. Cattaneo, Capacitance calculation in a microstrip detector and its application to signal processing, *Nuclear Instruments & Methods A295* (1990) 207-218
- [2] Paolo W. Cattaneo, The effect of velocity saturation on the shape of the current signals in silicon detectors, *Nuclear Instruments & Methods A311* (1992) 573-579
- [3] Paolo W. Cattaneo, The effect of velocity saturation on the shape of current signals in germanium cylindrical detectors, *Nuclear Instruments & Methods A343* (1994) 583-587
- [4] Paolo W. Cattaneo, Noise and signal processing in a microstrip detector with a time variant readout system, *Nuclear Instruments & Methods A359* (1995) 551-558
- [5] Paolo W. Cattaneo, Optimal measurement of signal over noise ratio with constrained filter transfer functions, *Nuclear Instruments & Methods A480* (2002) 726-728.
- [6] P.W. Cattaneo, Capacitances in micro-strip detectors: a conformal mapping approach, *Solid State Electronics* 54 (2010) 252-258, doi: 10.1016/j.sse.2009.09.030, arXiv:0909.3024 [physics.ins-det].

## 1.6 Strumentazione medica

Alla fine del 1995 mi sono unito a un progetto di strumentazione connesso allo sviluppo di un sistema per terapia adronica (TERA).

Uno dei problemi principali di questa terapia è la localizzazione del tumore e il posizionamento del paziente con una precisione tale da permettere il pieno sfruttamento della precisione spaziale di un fascio adronico. I metodi in uso più diffusi sono di tipo meccanico con una precisione dell'ordine di grandezza del centimetro e richiedono lunghi tempi di posizionamento che riducono il tempo di uso efficace dell'acceleratore.

Un approccio alternativo è l'uso di un tubo a raggi X in parallelo al fascio, di realizzare radiografie digitali con riconoscimento dell'immagine in tempo reale e di utilizzare le informazioni di posizione per guidare il posizionamento del fascio tramite un sistema di retroazione [1].

I punti più critici del programma sono: la progettazione di un sistema di rivelazione dei raggi X con capacità di produrre un'immagine nitida in tempi compatibili con il sistema di controllo del fascio, lo sviluppo di un adeguato sistema di riconoscimento dell'immagine e il sistema di controllo del fascio.

Sul primo punto è stato concentrato lo sforzo per fare uno studio di fattibilità, utilizzando rivelatori al silicio a pixel sviluppati per la fisica delle alte energie.

Ho inoltre ripreso il programma da me sviluppato per la simulazione dei rivelatori a microstrip al silicio in ALEPH, per adattarlo ai tipi di rivelatori e alle applicazioni mediche rilevanti per il progetto. Su questo aspetto sono stato correlatore di un tesi di laurea. Lo studio di fattibilità ha avuto risultati positivi descritti in [2].

## Riferimenti bibliografici

- [1] G. Baroni et al., New methods for patient alignment, Second International Symposium on Hadrontherapy (9-11) September 1996, PSI-CERN, Excerpta Medica, International Congress Series 1144 (1997).
- [2] P.W. Cattaneo et al., Experimental results of fast X-ray imaging with a silicon pixel detector for the feasibility of an automatic tumor X-ray survey and tracking system, INFN/TC-99/23.

## 1.7 AUGER

AUGER è un esperimento per lo studio dei raggi cosmici ad altissima energia nell'intervallo 100 EeV – 1 ZeV tramite un rivelatore ibrido che combina una griglia di rivelatori Cerenkov con rivelatori di luce di fluorescenza.

Nella configurazione finale, il rivelatore di superficie (SD) consisterà di circa 1500 bidoni pieni di acqua posizionati in una griglia dal passo di 1.5 km. La luce Cerenkov generata dal passaggio dello sciame viene letta da tre fototubi e i risultati sono radiotrasmessi al centro di raccolta dati. Il rivelatore di fluorescenza (FD) consiste di 4 siti ognuno dei quali è dotato di sei telescopi che coprono circa 180° in azimuth e 30° in ascensione. Il rivelatore è attivo solo le notti senza luna, che significa una efficienza di circa il 15%.

Ogni telescopio consiste in un diaframma per focalizzare la luce su uno specchio che riflette i fotoni su una camera equipaggiata di 20 × 22 fotomoltiplicatori. Il segnale analogico dei fotomoltiplicatori viene processato, campionato a 10 MHz e trattato digitalmente, per essere inviato al trigger e all'acquisizione.

I dati raccolti dall'SD e dall'FD possono essere analizzati separatamente e in comune (eventi ibridi). Questi ultimi, in numero limitato, possono servire a calibrare il rivelatore di superficie così da migliorarne la risoluzione anche per gli altri eventi.

### 1.7.1 Elettronica di readout del rivelatore di fluorescenza

Nella progettazione dell'elettronica analogica di lettura delle camere dell'FD, uno dei problemi fondamentali è la necessità di un range dinamico (15-16 bit) e di una frequenza di campionamento non compatibile con l'attuale tecnologia di ADC. Si rende quindi necessario comprimere il range dinamico del segnale.

Il compito del gruppo pavese (in collaborazione con i gruppi di Milano e Torino) consiste nella progettazione dell'elettronica di lettura analogica dei fototubi e nella sua interfaccia con l'elettronica digitale.

Ho collaborato a varie fasi della progettazione e mi sono concentrato sulla compressione, sul filtro anti-aliasing e sulla simulazione di sistema.

Per la compressione, ho analizzato criticamente varie tecniche di compressione; ciò ha contribuito a selezionare due tecniche che sono state studiate più a fondo a livello di prototipo. Una di queste è una tecnica di compressione dinamica, da me proposta, ispirata a FERMI; per questa tecnica ho operato degli studi per ricavare con tecniche analitiche e numeriche i parametri di compressione [3]-[4].

A riguardo del filtro anti-aliasing che è richiesto prima del campionamento, ho studiato i parametri del filtro che permettono di ottimizzare la misura in ampiezza o in carica e tempo del segnale del fototubo minimizzando la distorsione del segnale dovuta al taglio in frequenza e la complessità circuitale [5]. Il filtro è stato progettato sulla base di questi calcoli.

Questi studi sono stati supportati da un programma di simulazione di sistema scritto sfruttando il programma di simulazione di circuiti sviluppato in C per FERMI. In particolare la proposta del compressore è stata sostanziata da analisi su dati simulati e i calcoli riguardanti il filtro sono stati comparati ai risultati della simulazione.

### 1.7.2 Simulazione e software offline

Dopo che la collaborazione ha deciso di scrivere i programmi di simulazione e ricostruzione in C++, il programma succitato è diventato la base per la simulazione del read-out elettronica + trigger del rivelatore di Fluorescenza.

A partire dal Ottobre 2001 si è costituito un comitato incaricato di progettare il software di AUGER in maniera organica secondo i criteri della programmazione ad oggetti. Sono stato parte di questo comitato e mi sono occupato dei criteri generali di programmazione e di testare l'uso di librerie esterne (e.g. CLHEP) nei programmi. Sono stato uno dei promotori dell'uso del

linguaggio XML come metodo di descrizione dei parametri della simulazione.

Ho inoltre contribuito alla riscrittura del programma di simulazione del rivelatore di fluorescenza e dell'atmosfera nonché di alcuni pacchetti ausiliari utilizzati da varie parti del programma di simulazione.

Ho assunto la responsabilità di gestore del principale repository del software in Lione.

Nel Marzo 2002 ho preso parte alla presa dati per il periodo di tre settimane di luna nuova, durante il quale ho assunto il ruolo di Run coordinator.

## Riferimenti bibliografici

- [1] S. Argiró et al., The analog signal processing system for the Auger fluorescence detector prototype, IEEE Transaction on Nuclear Science Vol.48, No.3, (2001) 444-449
- [2] S. Argiró et al., The Analog Signal Processor of the Auger Fluorescence Detector Prototype, Nuclear Instruments & Methods A461 (2001) 440.
- [3] P.W. Cattaneo, Application of the bilinear compression function to calorimetry, Nuclear Instruments & Methods A440 (2000) 245.
- [4] P.W. Cattaneo, Optimization of the multilinear compression function applied to calorimetry, Nuclear Instruments & Methods A479 (2002) 599-602.
- [5] P.W. Cattaneo, The anti-aliasing requirements for amplitude measurements in sampled systems, Nuclear Instruments & Methods A481 (2002) 632-636. .
- [6] P.W. Cattaneo, The Anti-aliasing Requirements for Area and Timing Measurements with the Fluorescence Detector Read-out Channel, Signal Processing Vol.82, No. 3 (2002) 407-416.
- [7] J. Abraham et al., Properties and performance of the prototype instrument for the Pierre Auger Observatory, Nuclear Instruments & Methods A523 (2004) 50.

## 1.8 MEG

Da Settembre 2002 si è costituito un gruppo pavese facente parte della collaborazione internazionale MEG che ha presentato una proposta di ricerca [1] al PSI e all'INFN per la ricerca del decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  con una sensitività di  $\approx 5 \times 10^{-14}$  al PSI.

Il principio della misura è di misurare il fotone e l'elettrone monocromatici (52.8 MeV) prodotti dal decadimento e la loro coincidenza spazio temporale.

L'apparato sperimentale consiste di un calorimetro a Xenon liquido per la misura dell'energia, del tempo della posizione del fotone e di uno spettrometro, immerso in un campo massimo di 1.2 T, costituito da camere a drift per la misura della posizione e momento del positrone e di un Timing Counter (TC) per la misura di tempo del positrone.

I gruppi di Pavia, Genova e Roma I hanno costruito il Timing Counter che consiste di due strati di barre di scintillatore e fibre scintillanti incrociate, per la misura della posizione e del tempo di passaggio del positrone. La lettura delle barre è effettuata in campo magnetico ed è quindi necessario adottare fotomoltiplicatori in grado di operare in presenza di campo magnetico. Questi sono stati selezionati e testati dal gruppo di Pavia, che ha progettato anche l'elettronica di lettura basata su un Double Threshold Discriminator.

Lo strato a barre, parallelo al campo magnetico, misura il tempo di passaggio con una precisione di  $\sigma(t) \approx 50 ps$  e una precisione spaziale di circa 1 cm. La costruzione e le prestazioni del TC sono state descritte in diversi articoli [3, 5, 7].

Dall'inizio dell'esperimento, ho sviluppato un programma di simulazione di MEG basato su GEANT3 organizzato in numerose librerie e fortemente strutturato, attorno a un framework scritto da me (REM) che realizza in F77 molte delle caratteristiche dell'approccio Object Oriented [4].

Questo framework è utilizzato anche per la simulazione del beam test del calorimetro a Xenon liquido e del Timing Counter, dove vengono riutilizzate diverse librerie della simulazione principale e per programmi di analisi della simulazione e dei dati di test beam.

Il mio impegno si è suddiviso tra i programmi di simulazione e di ricostruzione e analisi del Timing Counter. Dall'inizio del 2006 sono stato responsabile del gruppo di software del TC, che ha realizzando i programmi di ricostruzione spaziale e temporale dei segnali del TC.

Ho inoltre collaborato allo sviluppo del sistema di calibrazione dello spettrometro basato sullo scattering Mott [17].

Nel 2006 e 2007 ci sono stati run tecnici con la lettura delle barre del TC. Il rivelatore ha funzionato secondo la aspettative e i dati sono risultati in buona corrispondenza con le aspettative del MC.

Dal 2008 al 2013 ci sono stati run di fisica, durante i quali ho svolto ripetutamente il compito di Run Coordinator.

Questi dati hanno portato alla pubblicazione di alcuni articoli che hanno stabilito il limite più stringente sul decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  [2, 6, 10].

Nel 2012-2013 sono stato l'editore principale dell'articolo che fornisce una descrizione accurata del rivelatore MEG [9].

Nel 2014 sono stato nominato editore dell'articolo che riporterà i risultati finali della ricerca sul decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  e che è prossimo alla pubblicazione.

Ho inoltre collaborato attivamente alla stesura di due altri articoli di MEG [12, 14] Nel 2013 [8] la collaborazione ha presentato un progetto, MEGII, per un aggiornamento del rivelatore con prestazioni migliorate per un secondo run con l'obiettivo di migliorare la sensitività di un ordine di grandezza.

Il gruppo di Pavia si è dedicato a sviluppare, in collaborazione con Genova e Tokyo, un Timing Counter basato su mattonelle di scintillatore lette da SiPM con l'obiettivo di una risoluzione temporale  $\sigma(t) \approx 30 ps$ . Il gruppo si è assunto il compito di selezionare, testare e rendere operativi i SiPMs, acquistati presso l'AdvansId (Trento). Inoltre si è reso disponibile a collaborare alla progettazione e realizzazione del prototipo del sistema di calibrazione del TC



basato su luce laser iniettata con fibre ottiche nelle mattonelle in collaborazione con Tokyo. Risultati sui test dei prototipi in laboratorio e al test beam sono riportati in [11, 13, 15, 16] che dimostrano come il rivelatore sia in grado di raggiungere la risoluzione di progetto. Alla fine del 2015 abbiamo portato a termine un primo Engineering Run al PSI con parte del TC attivo. Siamo inoltre impegnati allo studio del danneggiamento di radiazione dei SiPM con neutroni al reattore nucleare LENA a Pavia.

## Riferimenti bibliografici

- [1] A. Baldini et al., The MEG experiment: search for the  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  decay at PSI, Research Proposal to INFN
- [2] J. Adam *et al.* [MEG Collaboration] A limit for the  $\mu \rightarrow e^+\gamma$  decay from the MEG experiment, Nucl. Phys. B **834** (2010) 1-12, doi:10.1016/j.nuclphysb.2010.03.030, arXiv:0908.2594[hep-ex]
- [3] P.W. Cattaneo, M. De Gerone, S. Dussoni, F. Gatti, Y. Uchiyama, M. Rossella, R. Valle, The Timing Counter of the MEG experiment: calibration and performance, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **215** (2011) 281-283, doi: 10.1016/j.nuclphysbps.2011.04.031, arXiv:1104.1035 [physics.ins-det].
- [4] P. W. Cattaneo, F. Cei, R. Sawada, M. Schneebeli and S. Yamada, The Architecture of MEG Simulation and Analysis Software, Eur. Phys. J. Plus **126** (2011) 60, doi:10.1140/epjp/2011-11060-6, arXiv:1102.0106 [physics.ins-det]
- [5] M. De Gerone et al., The MEG Timing Counter Calibration and Performance, Nucl. Instr. & Meth. A **638** (2011) 41-46. doi:10.1016/j.nima.2011.02.044.
- [6] J. Adam *et al.*, New limit on the lepton-flavour violating decay  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ , Phys. Rev. Lett. **107**, 171801 (2011), doi:10.1103/PhysRevLett.107.171801, arXiv:1107.5547v1 [hep-ex]
- [7] M. De Gerone *et al.*, Development and commissioning of the Timing Counter for the MEG Experiment, IEEE Trans. on Nucl. Sci. **Vol.59, No.2**, (2012) 379-388 doi:10.1109/TNS.2012.2187311, arXiv:1112.0110 [physics.ins-det]
- [8] A. Baldini *et al.*, MEG Upgrade Proposal, 2013, arXiv:1301.7225 [physics.ins-det].
- [9] J. Adam *et al.*, The MEG detector for  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  decay search, Eur. Phys. J. C **73** (2013) 2365, doi:10.1140/epjc/s10052-013-2365-2, arXiv:1303.2348 [physics.ins-det].
- [10] J. Adam *et al.*, New constraints on the existence of the  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  decay, Phys. Rev. Lett. **110**, 201801 (2013), doi:10.1103/PhysRevLett.110.201801 arXiv:1303.0754 [hep-ex].
- [11] M. De Gerone *et al.*, Design and test of an extremely high resolution Timing Counter for the MEG II experiment: preliminary results, Jour. Inst.9 (2014) C02035, doi:10.1088/1748-0221/9/02/C02035, arXiv:1312.0871 [physics.ins-det].
- [12] A. M. Baldini *et al.* [MEG Collaboration], Muon polarization in the MEG experiment: predictions and measurements Eur. Phys. J. C in press (2016), arxiv:1510.04743 [hep-ex], doi:10.1140/epjc/s10052-016-4047-3.
- [13] P.W. Cattaneo *et al.*, Development of SiPM-based plastic scintillation counter for high precision time measurements, Accepted by IEEE TNS, doi:10.1109/TNS.2014.2347576, <http://arxiv.org/abs/1402.1404>.

- [14] A. Baldini *et al.* [MEG Collaboration], Measurement of the radiative decay of polarized muons in the MEG experiment, *Eur. Phys. J. C* 76(3) (2016) 108, doi:10.1140/epjc/s10052-016-3947-6, arXiv:1312.3217 [hep-ex].
- [15] M. Simonetta *et al.* [MEG TC Collaboration], Test and characterisation of SiPMs for the MEGII high resolution timing counter, *Nucl. Instr. & Meth. A* (in press), doi:10.1016/j.nima.2015.11.023.
- [16] M. De Gerone *et al.* [MEG TC Collaboration], A high resolution Timing Counter for the MEG II experiment, *Nucl. Instr. & Meth. A* (in press), doi:10.1016/j.nima.2015.11.022
- [17] G. Rutar *et al.*, A dedicated calibration tool for the MEG and MEG II positron spectrometer, *Nucl. Instr. & Meth. A* (in press), doi:10.1016/j.nima.2015.11.121

## 1.9 AGILE

Nel 2004 si é formato a Pavia un gruppo che si é unito all'esperimento AGILE, un esperimento su satellite di costruzione italiana per lo studio della radiazione X e  $\gamma$  con energie tra 30MeV e 50GeV [3].

Il rivelatore consiste di un tracciatore di silicio a microstrip con alternati piani di tungsteno per la conversione dei fotoni seguito da un mini calorimetro di CsI e circondato da un sistema di anticoincidenza di scintillatori plastici.

L'impegno del gruppo di Pavia in collaborazione con gli altri gruppi dell'INFN é stato nella costruzione, test e messa in funzione del tracciatore di silicio. In particolare nella progettazione, esecuzione e analisi dati del fascio di calibrazione alla BTF ai Laboratori Nazionale di Frascati e della calibrazione del payload [1]-[2]. Questo ha comportato lo sviluppo di un sistema di rivelatori al silicio per il tagging dei fotoni (PTS) installato alla BTF e messo in operazione in parallelo al rivelatore AGILE e una precisa caratterizzazione del sistema PTS/BTF, che é descritta in [5] .

Questa attività si é concretizzata in diversi miglioramenti al programma di simulazione. Le competenze acquisite dal gruppo sono state investite anche nella calibrazione dello strumento nello spazio [7] e nello studio della sua risoluzione [8]. Il gruppo di Pavia si é inoltre dedicato alla analisi della radiazione  $\gamma$  da sorgenti già note come emettitrici al TeV [4]; sono tra gli autori principali dell'articolo su questa analisi [9].

## Riferimenti bibliografici

- [1] S. Hasan *et al.* A Photon Tag Calibration Beam for the AGILE Satellite, LNF-05/24(IR), 25-11-2005
- [2] P.W. Cattaneo on behalf of AGILE Collaboration, Calibration and performance of the Silicon Tracker (ST) of the Agile Satellite, Proceedings of the IEEE Nuclear Symposium 2008, Dresda,
- [3] M. Tavani *et al.* [AGILE Collaboration] The AGILE mission, *Astron. & Astrophys.* 502 3 (2009) 995-1013
- [4] A. Rappoldi *et al.* [AGILE Collaboration] Preliminary results on TeV sources search with AGILE, *Nucl. Instr. & Meth. A* **630** (2011) 202-205, doi:10.1016/j.nima.2010.06.065.
- [5] P. W. Cattaneo *et al.* [AGILE Collaboration] Characterization of a tagged  $\gamma$ -ray beam line at the DaΦNE Beam Test Facility, *Nucl. Instr. & Meth. A* **674** (2012) 55-66, doi:10.1016/j.nima.2012.01.049, arXiv:1111.6147 [astro-ph.IM, physics.ins-det].
- [6] A. Rappoldi *et al.* [AGILE Collaboration] Systematic search of MeV-GeV counterparts of TeV ray sources performed with the AGILE telescope, In preparation (2014).
- [7] A. Chen *et al.* [AGILE Collaboration], Calibration of AGILE-GRID with in-flight data and Monte Carlo simulation, *Astron. & Astrophys.* 558 (2013), A37 doi:10.1051/0004-6361/201321767, arXiv:1310.1594[astro-ph.IM].
- [8] S. Sabatini *et al.* [AGILE Collaboration] On the Angular Resolution of the AGILE gamma-ray imaging detector, *Astrophys. J.* 809. (2015) 60, doi: 10.1088/0004-637X/809/1/60 arXiv:1507.01475 [astro-ph.HE].
- [9] A. Rappoldi *et al.* [AGILE Collaboration], Search of MeV-GeV counterparts of TeV sources with AGILE in pointing mode, *Astron. & Astrophys.* 587 (2016), A93, doi:10.1051/0004-6361/201526709, arxiv.org/abs/1512.00301 [astro-ph.HE].

## 1.10 GAMMA400

Nel 2013 il gruppo AGILE di Pavia si é unito all'esperimento GAMMA400 [1]. Questo esperimento si propone di inviare su un satellite un rivelatore di grandi dimensioni adatto a misurare sia raggi cosmici carichi [2] che radiazione  $\gamma$  ad alta energia [3]. Il progetto del rivelatore consiste di un tracciatore basato su rivelatori di silicio a microstrip alternati a piani di tungsteno concettualmente simile a quello di Agile, di un sistema di Time Of Flight (TOF) e di un calorimetro omogeneo come CaloCube. Il gruppo di Pavia si é interessando al sistema di calibrazione del calorimetro. L'attività sul calorimetro si svolge all'interno del progetto CaloCube (vedere in seguito)

## Riferimenti bibliografici

- [1] N.P. Topchiev *et al.* [GAMMA400 Collaboration], The GAMMA-400 experiment: Status and prospects, Bulletin of the russian academy of sciences. physics, 79 (2015) 417, doi: 10.3103/S1062873815030429
- [2] A.M. Galper *et al.* [GAMMA400 Collaboration], Space  $\gamma$ -observatory GAMMA-400 Current Status and Perspectives, Phys.Procedia 74 (2015) 177-182, 10.1016/j.phpro.2015.09.183
- [3] N.P. Topchiev, and others [GAMMA400 Collaboration], The GAMMA-400 gamma-ray telescope for precision gamma-ray emission investigations, J. Phys. Conf. Ser. 675 (2016) 3, 032009, 10.1088/1742-6596/675/3/032009

## 1.11 CALOCUBE

Il progetto CALOCUBE ha come obiettivo lo sviluppo di un calorimetro omogeneo a cristalli per applicazioni spaziali [1, 2] sia per la rivelazione di adroni che di radiazione elettromagnetica. I singoli cristalli sono letti da fotodiodi, per gestire un range dinamico molto elevato si pensa di usare due fotodiodi per cristallo ad alto e basso guadagno. Sono già stati effettuati diversi beam test al CERN con prototipi del rivelatore a cui ho preso parte.

A Pavia, stiamo studiando la possibilità dell'uso di un sistema basato sui LED (o alternativamente su un laser) con fibre ottiche per calibrare e monitorare la risposta in energia dei singoli cristalli durante la vita dell'esperimento. Accanto a questo sistema stiamo studiando i segnali fisici (protoni non interagenti, taglio geomagnetico) che possono coadiuvare la calibrazione.

## Riferimenti bibliografici

- [1] M. Bongi *et al.* [CALOCUBE Collaboration], CALOCUBE: an approach to high-granularity and homogenous calorimetry for space based detectors, J.Phys.Conf.Ser. 587 (2015) 012029, arXiv:1407.0238[astro-ph.HE].
- [2] R. D'Alessandro *et al.* [CALOCUBE Collaboration], Calocube-A highly segmented calorimeter for a space based experiment, Nucl. Instr. & Meth. A (in press), doi:10.1016/j.nima.2015.09.073.

5 maggio 2016

Dr. Paolo W. Cattaneo

