

## Curriculum di Andrea Chiavassa

- Nato a Torino il 15/04/1964
- Luglio 1983: maturità presso il Liceo Scientifico Statale Niccolò Copernico di Torino con punti 56/60
- Dal 7 Gennaio 1987 al 6 Settembre 1988: servizio civile sostitutivo del servizio militare presso la U.S.L. numero 6 di Carpi (MO).
- 16/3/1990: Laurea in Fisica presso l'Università degli studi di Torino con punti 110/110 e Lode.
- Anno accademico 1990/91: ammissione al VI ciclo del dottorato di ricerca in fisica presso l'Università degli Studi di Torino.
- 17/10/1994: Dottore di Ricerca in Fisica presentando una tesi dal titolo "Misura della componente elettromagnetica degli EAS e dello spettro primario dei raggi cosmici tra  $10^2$  e  $10^4$  TeV".
- Anno Accademico 1994/95: ammissione alla Scuola di "Perfezionamento in Fisica ed Astrofisica Subnucleare e Nucleare" dell'Università di Torino.
- Marzo 1995: contratto come "articolo 50" per 100 ore di didattica presso il corso di laurea in fisica dell'Università di Torino.
- Ottobre 1995: borsa di studio post-doc dell'Università degli studi di Torino.
- 17/3/1997: presa di servizio come ricercatore presso il Dipartimento di Fisica Generale dell'Università degli Studi di Torino.
- Dal 1999 al 2001: rappresentante dei ricercatori nel Consiglio della Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università di Torino.
- Aprile 2000: conferma nel ruolo di Ricercatore presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN dell'Università di Torino.
- Dal 2001: rappresentante dei ricercatori nella giunta del Dipartimento di Fisica Generale dell'Università di Torino.

- Dal 1/6/2002 al 31/5/2008: coordinatore della Linea Scientifica II della Sezione di Torino dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.
- Novembre 2003: vincitore di una idoneità al concorso per Professore Associato nel settore scientifico disciplinare Fisica Sperimentale (FIS/01) bandito dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Salerno.
- 1/1/2005: presa di servizio come Professore Associato all'Università degli Studi di Torino afferendo al Dipartimento di Fisica Generale.
- Dall'anno accademico 2006/07 membro del Collegio Docenti del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università degli Studi di Torino.
- A partire dal 1/1/2008 nomina a Professore Associato Confermato presso la medesima Università.

# Attività Scientifica di Andrea Chiavassa

La mia attività scientifica è sempre stata di tipo sperimentale nel campo della fisica dei raggi cosmici di alta energia ( $E_0 > 10^{14}$  eV). In questo campo, con apparati adatti a studiare intervalli di energia diversi, ho partecipato (o partecipo) ai seguenti esperimenti: EAS-TOP, LVD, Auger, KASCADE-Grande.

## 1 EAS-TOP

Durante la tesi e nei primi anni dopo la laurea ho partecipato alla costruzione dell'apparato EAS-TOP (che rientrava nei programmi dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN). In particolare ho condotto in prima persona lo studio degli spettri dei raggi cosmici primari (attraverso la misura delle componenti elettromagnetica e muonica degli EAS) e quello di eventi "orizzontali".

L'esperimento, posto in località Campo Imperatore (2000 m s.l.m), era costruito per effettuare la misura contemporanea di diverse componenti degli sciami estesi atmosferici (EAS), ovverossia della cascata di particelle che si sviluppa in atmosfera in seguito all'interazione di un raggio cosmico primario con un nucleo. Scopo dell'esperimento era lo studio dei raggi cosmici tra  $10^{14}$  e  $10^{16}$  eV, in particolare: misure di astronomia  $\gamma$ , dell'anisotropia, della composizione chimica e dello spettro dei primari. L'importanza di queste misure in questo intervallo di energia era legato all'osservazione (ad  $E_0 \sim 10^{15}$  eV) di un cambio di pendenza nello spettro primario le cui cause non erano note. Queste misure permettono di discriminare le diverse ipotesi esistenti che coinvolgono l'accelerazione, la propagazione dei raggi cosmici e le interazioni degli stessi in atmosfera.

Il rivelatore era composto da:

- 35 stazioni di  $10m^2$  di scintillatore plastico per la rivelazione della componente elettromagnetica;
- un calorimetro,  $144m^2$  di superficie, composto da nove piani di camere streamer e proporzionali, intervallati da assorbitore passivo, per la misura delle componenti adronica e muonica;
- 13 moduli di scintillatore plastico ( $10m^2$  ciascuno) coperti da assorbitore passivo per la misura della componente muonica.

- otto stazioni telescopiche dotate di quattro specchi (90 cm di diametro) ciascuna per la misura della componente in luce Cerenkov.

## 1.1 Messa a punto del rivelatore e sviluppo del programma di ricostruzione

Nella fase di costruzione mi sono principalmente occupato del rivelatore della componente elettromagnetica, con cui si campiona la densità di particelle cariche comprese nello sciame a diverse distanze dal suo asse.

Ho sviluppato il programma di ricostruzione degli eventi con il quale, utilizzando la densità di particelle misurata da ogni rivelatore e la direzione di arrivo dello sciame, si determinano le coordinate del punto di impatto, il parametro  $s$  caratteristico dello sviluppo laterale ed il size  $N_e$  (numero di particelle cariche comprese nella cascata alla quota di osservazione).

Lo sviluppo di questo programma, oltre al lavoro di ottimizzazione dell'algoritmo, ha richiesto lo studio accurato di alcune caratteristiche tecniche del rivelatore. Ho dovuto in particolare sviluppare la tecnica per tarare in guadagno fotomoltiplicatori e i metodi di controllo della loro stabilità nel tempo. Ho anche realizzato la taratura della risposta dei rivelatori al numero di particelle che li attraversano, utilizzando la misura dello spettro dei muoni singoli. Ho infine eseguito delle misure in laboratorio per determinare accuratamente le fluttuazioni sul numero di particelle misurato.

La precisione raggiunta ad EAS-TOP è di circa 10 m sulla posizione dell'asse e di circa il 10% sulla determinazione del size dello sciame, completamente in accordo con quella di progetto.

Ho presentato i vari sviluppi del lavoro a due congressi della SIF ed al 13th European Cosmic Ray Symposium di Ginevra (1992).

Questi lavori rappresentano la prima parte della mia tesi di dottorato e sono stati in seguito pubblicati in: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, **A336**, 310 (1996).

## 1.2 La misura dello spettro primario in $N_e$

L'applicazione più diretta dei dati ottenuti dalla ricostruzione degli eventi è la misura dello spettro in size dei raggi cosmici primari.

Come già detto, uno degli scopi principali dell'esperimento era lo studio del cambio di pendenza che si osserva nello spettro primario dei raggi cosmici ad un'energia intorno ai  $10^{15}$  eV.

Questo studio è stato affrontato attraverso la misura dello spettro delle componenti elettromagnetica e muonica degli EAS a diversi angoli zenitali. Infatti questa osservazione permette lo studio del fenomeno a diverse profondità atmosferiche e quindi a diversi stadi dello sviluppo in atmosfera della cascata.

Per la misura degli spettri primari è fondamentale selezionare eventi acquisiti in condizioni tali che l'efficienza di rivelazione sia quanto più possibile vicina al cento per cento. Questa è stata studiata attraverso una simulazione che riproduce le condizioni di trigger dell'apparato. Sulla base dei risultati ottenuti ho determinato le condizioni fisiche per selezionare eventi acquisiti con l'efficienza richiesta ( $\epsilon > 95\%$ ). Ho quindi studiato, con una simulazione dedicata, le possibili deformazioni dello spettro primario derivanti dagli errori di misura (particolarmente rilevanti dal momento che si lavora su uno spettro a legge di potenza).

I risultati ottenuti sono:

- tutti gli spettri di Ne misurati, a sei diverse profondità atmosferiche, mostrano l'atteso cambio di pendenza;
- il valore di size a cui si osserva il cambio di pendenza ( $Ne_k$ ) diminuisce al crescere della profondità atmosferica,
- la lunghezza di attenuazione dello stesso risulta compatibile con quella misurata per gli sciami,
- il flusso integrale sopra  $Ne_k$  ( $I_k$ , che è una quantità misurabile e legata all'energia del primario) si mantiene costante.

Ho presentato le varie fasi del lavoro alle seguenti conferenze: XXIII International Cosmic Ray Conference, Calgary (1993); XXIV ICRC, Roma (1995); XXV ICRC, Durban (1997); X International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions, Gran Sasso (1998).

Il lavoro conclusivo pubblicato su "Astroparticle Physics **10**, 1999, 1", ha rappresentato un passo avanti in questo tipo di studio. Per la prima volta infatti si è ottenuta la misura delle caratteristiche del cambio di pendenza degli spettri di Ne, a diverse profondità atmosferiche, con un solo esperimento (mentre prima indicazioni di questo comportamento si avevano solo combinando risultati di esperimenti diversi, e quindi con diversi errori sistematici). Inoltre questi risultati coinvolgono solo grandezze direttamente misurabili e

quindi la loro interpretazione non dipende da una simulazione e quindi da un modello del meccanismo di interazione che a queste energie non è noto.

Questa tecnica di analisi è stata in seguito utilizzata da tutti i maggiori esperimenti che hanno studiato lo spettro primario dei raggi cosmici ad energie intorno al cambio di pendenza.

Per passare dallo spettro in size dello sciame a quello in energia del primario è necessario utilizzare una simulazione completa dello sviluppo in atmosfera dell'EAS. Da questa si ricava una relazione tra il numero di elettroni nello sciame alla quota di osservazione e l'energia e il numero atomico di massa  $A$  del primario. Per mezzo di questa relazione si è ottenuto una misura (dipendente dai modelli di interazione utilizzati) dello spettro in energia dei raggi cosmici primari. I risultati ottenuti sono in buon accordo sia con le estrapolazioni delle misure dirette che con i risultati di altri apparati a sciame.

### 1.3 La misura dello spettro primario in $N_\mu$

Ho anche lavorato alla misura del numero totale di muoni di energia superiore a 2 GeV ( $N_\mu$ ) compresi nello sciame. Il valore di  $N_\mu$  di ciascun evento viene determinato combinando il numero di tracce rivelate dal rivelatore a tubi a streamer in funzione ad EAS-TOP con la posizione dell'asse dello sciame determinata dall'analisi dell'evento elettromagnetico. Selezionando eventi in una regione in cui i valori di  $N_\mu$  di interesse producono un numero di tracce sul calorimetro tale che le fluttuazioni Poissoniane non siano troppo rilevanti ma in cui il rivelatore non sia saturo, ho ottenuto la misura dello spettro primario dei raggi cosmici in  $N_\mu$ .

Anche questi spettri sono stati misurati a diverse profondità atmosferiche e anch'essi mostrano l'atteso cambio di pendenza.

Ho quindi valutato, con procedura simile a quella utilizzata per gli spettri di Ne, i parametri che descrivono i risultati sperimentali. Si è così ottenuto che i flussi integrali sopra  $Ne_k$  ed  $N_{\mu k}$  (valori degli spettri di Ne ed  $N_\mu$  cui si osserva il cambio di pendenza) sono compatibili entro gli errori sperimentali e che la relazione tra i valori di  $Ne_k$  e di  $N_{\mu k}$  è quella che ci si aspetta in base ai modelli di sviluppo degli EAS.

È stato così possibile concludere che le caratteristiche del cambio di pendenza osservate dagli spettri della componente elettromagnetica e di quella muonica degli EAS sono compatibili e che quindi questo cambio di pendenza è una caratteristica propria dello spettro primario e non è dovuta a cambi

nei meccanismi di interazione che generano gli EAS.

Dal confronto dei valori di  $N_{e_k}$  e di  $N_{\mu k}$  si ottiene un'indicazione della natura chimica dei primari che causano il cambio di pendenza dello spettro. Dalle misure fatte ad EAS-TOP si ha una chiara indicazione del fatto che sia la componente leggera dei primari (H, He) a causare il suddetto cambio di pendenza.

Ho presentato questi risultati alle seguenti conferenze: Sixth Topical Seminar on Neutrino and Astro-Particle Physics, San Miniato (1999); XXVI ICRC, Salt Lake City (1999). Essi sono poi stati pubblicati in: Nuclear Physics B, **85**, (2000) 318 e su Astroparticle Physics, **21**, (2004) 583.

## 1.4 Eventi orizzontali

Un altro argomento di cui mi sono occupato è lo studio di eventi con angolo zenitale molto grande, provenienti quindi da direzioni prossime all'orizzonte.

Dai dati sperimentali si osserva che la distribuzione in  $\theta$  (angolo zenitale) degli eventi ha, fino a  $60^\circ$ , un'andamento esponenziale (come atteso per gli EAS) mentre oltre  $60^\circ$  si osserva un contributo non esponenziale, che diventa dominante oltre i  $70^\circ$ . Questi eventi sono originati da sciame (Horizontal Air Shower, HAS) che giungono da una profondità atmosferica di almeno  $2400 gcm^{-2}$ . È interessante studiare questi eventi (dei quali misuriamo sia la componente elettromagnetica che quella muonica) che possono essere o sciame prodotti da fotoni emessi per bremsstrahlung da muoni o sciame dovuti all'interazione di neutrini con nuclei atmosferici.

Si misura un flusso di  $\approx 1$  evento al giorno oltre i  $70^\circ$  (da confrontare con una frequenza di trigger dell'apparato di 35 Hz). Degli eventi registrati in coincidenza con il calorimetro adronico il 75% mostra una componente muonica, la cui direzione di arrivo è sempre compatibile con quella determinata attraverso la componente elettromagnetica, pur essendo le due misure del tutto indipendenti.

Si è verificato che il numero di eventi misurato è spiegabile con eventi originati da muoni; è quindi stato ricavato un limite superiore al flusso diffuso di neutrini di alta energia prodotti da AGN:  $I_\nu(> 10^5 GeV) < 1.5 \times 10^{-8} cm^{-2} s^{-1} sr^{-1}$ . Questi risultati sono stati pubblicati in Physics Letters B **333**, (1994) 555 e sono stati da me presentati al LXXX congresso della SIF, Lecce (1994).

Al momento della pubblicazione questo limite superiore era dello stesso ordine di grandezza di quello ottenuto con l'apparato sotterraneo del Fre-

jus, dimostrando come questa tecnica permetta anche con un apparato non dedicato alla misura dei neutrini di ottenere misure rilevanti anche in questo campo.

## 1.5 Altri risultati di EAS-TOP

Ho contribuito alle misure effettuate, prima presso l'Osservatorio astronomico di Pino Torinese e poi a Campo Imperatore, per sviluppare il rivelatore di luce Cherenkov, che è poi stato installato ad EAS-TOP.

Durante queste misure è stato installato un fotomoltiplicatore ad anodo segmentato Philips XP4702 con il quale è possibile ottenere le immagini della luce Cherenkov emessa dagli sciami.

Il rivelatore di luce Cherenkov che è stato costruito ad EAS-TOP era composto da otto telescopi dotati di movimento alt-alt, per poter puntare ed inseguire oggetti celesti. Ciascuno di questi era equipaggiato da tre specchi: uno di 90 cm di diametro e 65 cm di lunghezza focale nel cui fuoco era posto un fotomoltiplicatore a 96 pixel; altri due di 80 cm di diametro e 40 cm di lunghezza focale, visto da un sistema di 7 fotomoltiplicatori.

Ho attivamente partecipato alle campagne di misura che si sono susseguite negli anni. Lo scopo di questo rivelatore era: lo sviluppo di tecniche per misure di astronomia  $\gamma$  basate sull'uso del fotomoltiplicatore ad anodo segmentato e misure in correlazione con gli apparati sotterranei. Quest'ultimo studio è di particolare interesse in quanto si possono selezionare eventi che hanno generato un trigger nel rivelatore cherenkov e non nel rivelatore elettromagnetico di EAS-TOP e che allo stesso tempo hanno generato un  $\mu$  rivelato dagli apparati sotterranei. In questo modo si ha un campione di eventi di energia inferiore ai 150 TeV che fra i 40 e i 70 TeV è composto da primari H ed He (in quanto devono essere sciami generati da primari di bassa energia per nucleo ma con un'energia per nucleone tale da produrre il  $\mu$  che arriva sottoterra); mentre intorno ai 100 TeV oltre ai due suddetti primari si ha anche un contributo di Carbonio, Azoto e Ossigeno. Da questi dati si ha una misura dei flussi di questi primari ad energie che sono al momento coperte con risultati di esperimenti operanti su satellite ma con bassa statistica. I risultati sono stati pubblicati in: Nuclear Physics B, **110**, (2002) 466 e su Astroparticle Physics, **21** (2004) 233.

I dati ottenuti con il programma di ricostruzione degli EAS sono stati utilizzati in modo cruciale in molte analisi (oltre a quelle descritte) svolte con i dati dell'esperimento. Tra queste voglio ricordare quelle volte allo stu-

dio della composizione chimica dei raggi cosmici, sia confrontando i dati del rivelatore elettromagnetico e di quello di muoni di EAS-TOP, sia correlando i dati ottenuti in superficie ad EAS-TOP con quelli degli esperimenti sotterranei operanti nei laboratori del Gran Sasso (MACRO ed LVD). Questi apparati danno infatti informazioni sui  $\mu$  di alta energia ( $E > 1.4$  TeV) che derivano dalle prime interazioni in atmosfera. Questa particolarità offerta dai Laboratori Nazionali del Gran Sasso era unica al mondo e i dati ottenuti hanno permesso studi di notevole interesse i cui dati sono stati pubblicati in: Physics Letters B, **337** (1994) 376; Astroparticle Physics, **9** (1998) 185; Astroparticle Physics, **20**, (2004) 641.

Sia dai dati presi in superficie sulla componente elettromagnetica e muonica ( $E > 2$  GeV) che dalle correlazioni con gli apparati sotterranei si ottiene una chiara evidenza del fatto che la composizione chimica dei raggi cosmici tenda verso elementi più pesanti per energie superiori al ginocchio. Questo risultato è coerente con quanto affermato in precedenza sulla natura “leggera” della componente primaria che mostra il cambio di pendenza dello spettro.

## 2 LVD

A partire dal 1995, periodo in cui la costruzione di EAS-TOP era terminata, pur continuando ad occuparmi prevalentemente di quest’esperimento, ho fatto parte della collaborazione LVD (Large Volume Detector).

LVD è un apparato operante nei laboratori sotterranei del Gran Sasso ed è composto da  $\sim 1000$  tonnellate di scintillatore liquido. Lo scintillatore è contenuto in tank di  $1.5 \text{ m}^3$  ciascuna, attrezzate ognuna con tre fotomoltiplicatori. Lo scopo dell’esperimento è la rivelazione dei neutrini provenienti da esplosioni di supernovae. Dato l’ampio volume a disposizione l’apparato è in grado di rivelare eventi generati in tutta la nostra galassia. Oltre a questa misura l’esperimento studia la componente penetrante dei raggi cosmici, in particolare data la geometria dell’esperimento è molto sensibile ad eventi provenienti da direzioni quasi orizzontali. Nell’ambito di LVD ho principalmente collaborato all’analisi degli eventi in coincidenza con il rivelatore di superficie (EAS-TOP) e mi sono occupato dello studio dei  $\mu$  prompt.

Dall’anno 2001 non faccio più parte di questa collaborazione.

## 3 Attività attualmente in corso

Nell'anno 2000 l'esperimento EAS-TOP è stato chiuso. Visto il mio personale interesse, e quello del gruppo di ricerca di cui faccio parte, a proseguire l'attività nel campo dello studio dei raggi cosmici di alta energia, l'attenzione si è rivolta verso esperimenti, in fase di costruzione, che si propongono di esplorare intervalli di energia superiori a quelli fin qui studiati ( $E < 10^{16}$  eV). Quindi dall'estate del 2000 faccio parte delle collaborazioni Auger ed KASCADE - Grande.

### 3.1 Auger

L'osservatorio Pierre Auger ha come scopo lo studio della radiazione cosmica ad energie superiori ai  $10^{19}$  eV. Queste particelle costituiscono i fenomeni di più alta energia osservati nell'universo e il loro studio riveste molta importanza in quanto non sono noti i meccanismi celesti che possono accelerare particelle fino a queste energie. Inoltre a queste energie sono previste interazioni tra i raggi cosmici primari e i fotoni della radiazione cosmica di fondo (GZK cutoff), che rendono impossibile la propagazione della radiazione cosmica oltre distanze dell'ordine delle centinaia di Mega Parsec.

Prima dell'inizio delle misure dell'osservatorio Pierre Auger si avevano misure contraddittorie di due diversi esperimenti: uno (AGASA) che osservava eventi sopra l'energia del cutoff di GZK e uno no (Hires). I due esperimenti utilizzavano tecniche diverse per cui un confronto diretto delle misure risultava molto difficile. Bisogna anche considerare che a queste energie il flusso dei primari è estremamente basso (1 evento/km<sup>2</sup> secolo per  $E > 10^{20}$  eV) e la statistica riportata dai due esperimenti è molto bassa.

Sono quindi necessarie misure che, raggiungendo una statistica sufficiente, potessero dirimere l'ambiguità dei due esperimenti passati. Il progetto complessivo dell'osservatorio Pierre Auger prevede la costruzione di due apparati gemelli posti uno in ciascun emisfero in modo da garantire la copertura completa della volta celeste. Infatti a queste energie si presume che i campi magnetici extragalattici non devino più di qualche grado ( $< 3^\circ$ ) le traiettorie dei primari e che quindi sia possibile fare dell'astronomia anche utilizzando delle particelle cariche. Ciascuno dei due siti è composto da 1600 rivelatori ad acqua, posti su una griglia esagonale a distanza di 1500 m l'uno dall'altro, in cui si campiona la luce cherenkov emessa dalle particelle cariche presenti nello sciame al livello di osservazione e da quattro telescopi, posti ai

bordi del rivelatore di superficie, con i quali si misura la luce di fluorescenza emessa in atmosfera nello sviluppo dello sciame. La superficie totale coperta dal rivelatore è di 3000 km<sup>2</sup>. Dal campionamento della luce cherenkov nei rivelatori ad acqua si misura la densità di particelle nello sciame a diverse distanze dall'asse. Ricostruendo lo sviluppo laterale dello sciame si determina un parametro ( $S_{1000}$  densità di particelle a 1000 m di distanza dall'asse dello sciame) che è legato all'energia del primario che ha generato l'evento. Queste misure possono essere effettuate con un duty cycle del 100% però il passaggio all'energia del primario richiede necessariamente l'utilizzo di una simulazione completa dello sviluppo dello sciame in atmosfera, che si deve basare su modelli di interazione che alle energie in questione non sono noti. Con i rivelatori di fluorescenza si può invece misurare lo sviluppo dello sciame in atmosfera, infatti ogni pixel (fotomoltiplicatore) guarda una regione di cielo ben definito e dall'ampiezza del segnale misurato si può determinare il numero di particelle presenti nello sciame a diverse profondità atmosferiche. Integrando il segnale su tutto lo sviluppo della cascata si ha una misura calorimetrica dell'energia del primario, misura che non dipende da modelli di interazione. Lo svantaggio di questo rivelatore è che può operare solo nelle notti serene senza luna, quindi il suo duty cycle è del 10%.

L'osservatorio Pierre Auger utilizza le due tecniche contemporaneamente e quindi sfrutta il rivelatore di fluorescenza per tarare in energia il rivelatore di superficie, le cui misure permettono in seguito di ottenere la statistica necessaria.

In questo momento la costruzione del rivelatore nell'emisfero sud (Margarue, Argentina) è praticamente terminata, mentre è stato scelto il sito per la costruzione del rivelatore nell'emisfero nord (Lamar, Colorado) per il quale sono iniziate le attività di R&D volte a migliorare il rivelatore vista l'esperienza maturata con il rivelatore dell'emisfero sud.

Durante la costruzione dell'apparato dell'emisfero sud è iniziata una presa dati che nonostante la superficie ridotta (l'accettanza è comunque già adesso maggiore di quella degli esperimenti precedenti) ha permesso di arrivare a due importanti risultati: la conferma dell'esistenza del GZK cutoff nello spettro di energia (come misurato da Hires), *Physical Review Letters* **101** 061101 (2008), e una correlazione statisticamente significativa tra la direzione di arrivo degli eventi sopra circa  $60 \times 10^{18}$  eV e la distribuzione degli AGN (Active Galactic Nuclei) che si trovano a meno di 75 Mpc dalla terra, *Science* **318** 938 (2008).

Il gruppo di Torino di cui faccio parte ha collaborato alla costruzione

(progettazione delle basi dei fotomoltiplicatori in collaborazione con il gruppo dell'Institut de Physique Nucleaire di Orsay, Francia), alla messa a punto ed all'analisi dati dei rivelatori ad acqua. Io sono il responsabile dei test di laboratorio degli alimentatori di alta tensione, acquistati dalla ditta EMI, prima che questi vengano montati sui fotomoltiplicatori in funzione nei rivelatori di luce cherenkov. In vista della costruzione del rivelatore del sito nord sto per iniziare lo studio degli alimentatori alta tensione più idonei all'utilizzo nel nuovo rivelatore, cercando in particolare di ridurre il loro consumo energetico. Il lavoro di R&D sarà da me coordinato e inizierà a partire dall'autunno del 2008.

### 3.2 KASCADE - Grande

KASCADE-Grande è un esperimento dedicato allo studio dei raggi cosmici primari con energia compresa tra  $10^{16}$  e  $10^{18}$  eV.

La motivazione principale per investigare questo range di energia è la ricerca del previsto cambio di pendenza dello spettro della componente pesante (nuclei di Fe) della radiazione cosmica. L'esistenza di questo cambio di pendenza è previsto sulla base delle osservazioni di un fenomeno analogo per la componente leggera dei primari (nuclei di H, He) ad energie di circa  $3\text{-}4 \times 10^{15}$  eV. Se questo cambio di pendenza è interpretabile come fine del contenimento della radiazione primaria all'interno di campi magnetici presenti o nella regione di accelerazione delle particelle o durante la loro propagazione tra la stessa e la terra, ci si aspetta che primari più pesanti siano confinati fino ad energie che scalano con la carica del primario e quindi con il numero atomico  $Z$ . Se il cambio di pendenza osservato a  $E_H \sim 3 \times 10^{15}$  eV è dovuto a nuclei di H ci si aspetta quindi che lo stesso fenomeno avvenga per i nuclei di Fe ad un energia  $E_{Fe} \sim 26E_H \sim 10^{17}$  eV. Questa osservazione rappresenterebbe quindi una conferma definitiva delle ipotesi astrofisiche per l'interpretazione del cambio di pendenza dello spettro primario.

Il range di energia tra  $10^{16}$  e  $10^{18}$  eV è stato studiato fino ad ora solo da esperimenti con risoluzione limitata mentre gli apparati con risoluzione migliore, come EAS-TOP e KASCADE, non coprivano una superficie sufficiente per poter raccogliere la statistica adeguata. Occorre quindi un apparato di nuova generazione che abbia la precisione raggiunta a energia inferiori e che si estenda su una superficie più grande.

KASCADE-Grande nasce esattamente in quest'ottica come espansione del precedente esperimento KASCADE riutilizzando alcuni rivelatori prove-

nienti da EAS-TOP. KASCADE-Grande è stato costruito installando, attorno all'esistente apparato KASCADE, 37 rivelatori di 10 m<sup>2</sup> di scintillatore plastico ciascuno, posti ad una distanza media di 140 m l'uno dall'altro (per una superficie totale di 0.5 km<sup>2</sup>). Con questi rivelatori si campionano le particelle cariche (elettroni e muoni) presenti negli sciame atmosferici estesi alla quota di osservazione. Questa parte dell'esperimento va sotto il nome di Grande. L'apparato è installato presso il Forschungszentrum di Karlsruhe, ad un altitudine di 110 m s.l.m., è stato completato nel 2004 e da allora è in continua presa dati.

Mi sono occupato in prima persona del montaggio del rivelatore e della sua messa in funzione, seguendo e validando tutti gli sviluppi dell'elettronica che si sono resi necessari. In particolare per la misura del segnale analogico, che viene trasmesso lungo 700 m di cavo, si è reso necessario lo sviluppo (in collaborazione con la ditta CAEN di Viareggio) di un amplificatore di carica del segnale adattato alle caratteristiche dell'esperimento. Dato l'ampio range dinamico richiesto per la misura, è stato necessario un accurato studio della linearità di questi amplificatori, arrivando a sviluppare una catena di taratura che permette di correggere non-linearità molto piccole (dell'ordine del percento) che però producono degli effetti importanti sul range di misura richiesto. La calibrazione dei rivelatori è stata verificata confrontando il deposito di energia nei rivelatori di Grande con quello misurato in quelli già operanti nell'array di KASCADE.

Una volta concluso questo lavoro di installazione e calibrazione del rivelatore ho collaborato allo sviluppo del codice per la ricostruzione degli eventi ed attualmente nella collaborazione ho il compito di coordinare le attività di sviluppo e manutenzione del software. La precisione ottenuta con il nuovo rivelatore è stata determinata sia confrontando i parametri degli EAS ottenuti dalle misure di Grande con quanto si ottiene con l'array di KASCADE che attraverso la ricostruzione di eventi simulati. Le precisioni raggiunte sono: circa 10m nella determinazione della posizione dell'asse dello sciame,  $\sim 1.0^\circ$  nella misura della direzione di arrivo e  $\sim 15\%$  per il numero totale di particelle cariche nello sciame.

Questi valori rappresentano le specifiche di progetto, e quindi possiamo affermare che KASCADE-Grande può esplorare il range di energia in questione con la precisione necessaria.

Finite queste fasi di sviluppo del rivelatore stiamo entrando nella fase di analisi dati. In particolare mi sono occupato della separazione degli eventi in due campioni: quello generato da primari leggeri e quello generato da

primari pesanti. Questa selezione è stata sviluppata sfruttando il rapporto tra il numero di muoni e il numero di particelle cariche rivelate nello sciame. Avendo separato questi due campioni di eventi se ne possono quindi studiare gli spettri di energia, utilizzando un'osservabile diversa da quelle utilizzate nella selezione degli eventi, per cercare di evidenziare se i primari pesanti presentino l'atteso cambio di pendenza.

Al momento abbiamo dimostrato che la tecnica funziona e che l'apparato è adatto a questa misura. La statistica analizzata fino ad ora non permette ancora di arrivare ad un chiaro risultato sperimentale. Su questo argomento ho seguito una tesi di laurea magistrale.

Ho presentato delle comunicazioni su KASCADE - Grande alle seguenti conferenze: 18th European Cosmic Ray Symposium svoltosi a Mosca nel luglio del 2002; XXVIII ICRC 2003 Tsukuba (Giappone); Frontiers Objects in Astrophysics and Particle Physics, Vulcano 2004; XXIX ICRC Pune 2005 (India). Nel prossimo mese di settembre 2008 presenterò una relazione sullo stato dell'esperimento alla 21st European Cosmic Ray Symposium a Kosice (Slovacchia).

Primi risultati di KASCADE-Grande sono stati pubblicati su: *Astroparticle Physics* **29** (2008) 317.

All'interno dell'esperimento KASCADE-Grande sono in corso anche dei test per sviluppare la rivelazione del segnale emesso nelle radio frequenze da parte delle particelle cariche dello sciame a causa della deflessione delle stesse da parte del campo magnetico terrestre. Questo progetto va sotto il nome di collaborazione LOPES. L'apparato è costituito da 30 antenne radio (che operano su frequenze comprese nel range 40-80 MHz) disposte all'interno dell'esperimento KASCADE-Grande. I segnali di queste antenne vengono campionati in continuo e vengono registrati quando si ha un trigger di alta energia in KASCADE-Grande. In questo modo è possibile confrontare l'ampiezza del segnale radio misurato dalle antenne con i parametri dello sciame (in particolare numero di elettroni e numero di muoni) misurati da un apparato tradizionale la cui calibrazione è nota con alta precisione. I primi risultati ottenuti hanno permesso di dimostrare come i segnali radio registrati in coincidenza con gli sciami siano correlati con le caratteristiche degli stessi. Questa tecnica sperimentale è molto promettente in quanto permetterebbe una misura dello sviluppo longitudinale dello sciame, e quindi una misura quasi calorimetrica dell'energia del primario, avendo un duty cycle del 100% (da paragonare con il 10% della tecnica della luce di fluorescenza). I primi risultati ottenuti sono stati pubblicati su: *NATURE* **435** (2005) 313. Ulteri-

ori sviluppi sono stati pubblicati su: *Astronomy & Astrophysics* **462** (2007) 389 e **467** (2007) 385.

### **3.3 EEE**

Infine faccio parte della collaborazione EEE, che è un progetto con il quale si vogliono installare dei rivelatori di particelle in licei di diverse città italiane. A Torino al momento sono stati coinvolti tre licei, i cui studenti hanno costruito, con un soggiorno al CERN, i rivelatori MRPC simili a quelli sviluppati per la misura dei tempi di volo dell'esperimento ALICE. Il primo di questi rivelatori è entrato in misura a febbraio di quest'anno presso il Liceo Scientifico Statale A. Volta, mentre è stata da poco conclusa l'installazione del rivelatore presso il Liceo Scientifico Statale Galileo Ferraris e stanno iniziando i lavori al Liceo Classico Statale Massimo D'Azeglio.

Ho seguito la tesi di laurea triennale di due studenti con i quali abbiamo misurato l'efficienza delle camere ed abbiamo sviluppato il codice per la ricostruzione delle tracce misurate dal rivelatore. I risultati ottenuti mostrano che i rivelatori in funzione al Liceo Volta funzionano in maniera ottimale raggiungendo la precisione prevista. Ho svolto alcune lezioni presso i licei coinvolti per avvicinare gli studenti alla fisica dei raggi cosmici e al funzionamento dei rivelatori.

## **4 Attività di Coordinamento Scientifico**

Da giugno 2002 a giugno 2008 ho fatto parte della Commissione Nazionale 2 dell'INFN, come coordinatore della sezione di Torino. All'interno della stessa sono referee degli esperimenti Borexino, Pamela e Magic.

Durante le attività della commissione nazionale seconda ho tenuto, durante la riunione di marzo 2004, una relazione di rassegna sulle attività nelle linee scientifiche "Studio della radiazione cosmica in superficie, sottomarina e nello spazio". Nel 2006 ho collaborato al gruppo di studio della stessa linea scientifica nell'ambito dello studio di una "Road Map" che si è svolto all'interno dell'INFN.

Sono stato nominato rappresentante dell'INFN all'interno del gruppo di lavoro "High Energy Cosmic Rays" del progetto ASPERA, che è un comitato finanziato dalla comunità europea allo scopo di redigere un programma di sviluppo della ricerca in fisica astroparticellare per i prossimi dieci anni.

## Conferenze e Scuole cui ho Partecipato

- XXII ICRC (International Cosmic Ray Conference), Dublino dall'11 al 23 Agosto 1991.
- LXXVII Congresso Nazionale della SIF (Società Italiana di Fisica), L'Aquila 30 Settembre 5 Ottobre 1991. Presentando il lavoro: "Misura dello spettro primario dei raggi cosmici fra  $10^{14}$  e  $10^{16}$  eV ad EAS-TOP".
- 13th European Cosmic Ray Symposium, Ginevra 27-31 Luglio 1992. Presentando il lavoro "Event reconstruction and the shower size spectrum measured at EAS-TOP".
- LXXVIII Congresso Nazionale della SIF, Pavia 5-10 Ottobre 1992. Presentando il lavoro: "Ricostruzione degli eventi e misura dello spettro primario del size misurato ad EAS-TOP".
- XXIII ICRC, Calgary 19-30 Luglio 1993. Presentando il lavoro: "The EAS primary spectrum between  $10^{14}$  and  $10^{16}$  eV (EAS-TOP data)".
- LXXIX Congresso Nazionale della SIF, Udine dal 27 Settembre al 2 Ottobre 1993. Presentando il lavoro: "EAS-TOP: rivelazione di sciami orizzontali".
- LXXX Congresso Nazionale della SIF, Lecce dal 26 Settembre al 1 Ottobre 1994. Presentando i lavori: "Lo spettro in size degli EAS tra  $10^{14}$  e  $10^{16}$  eV: implicazioni" e "Limite al flusso di neutrini di altissima energia mediante l'osservazione di sciami orizzontali".
- "Fourth School on non-accelerator particle astrophysics" presso il International Center for Theoretical Physics, 17-28 Luglio 1995 Trieste. Tenendo una lezione su "Extensive Air Showers".
- XXIV ICRC, Roma dal 28 Agosto al 8 Settembre 1995. Presentando il lavoro: "A measurement of the EAS differential size spectrum for  $10^5 < Ne < 10^7$  and of the absorption of EAS in the atmosphere".
- LXXXII Congresso Nazionale della SIF, Verona 23-28 Settembre 1996. Presentando i lavori: "Le risoluzioni del rivelatore elettromagnetico di EAS-TOP alle altissime energie" e "Le caratteristiche del "ginocchio" nello spettro primario degli EAS dalle osservazioni del rivelatore elettromagnetico di EAS-TOP".
- XXV ICRC, Durban 28 Luglio - 8 Agosto 1997, presentando il lavoro: "Study of the knee of the cosmic ray spectrum in the electron component".
- X International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 12 - 18 Luglio 1998. Presentando il lavoro: "Studies of the knee in the electron and muon components at EAS-TOP".

- Sixth Topical Seminar on Neutrino and Astro-Particle Physics, San Miniato (Pisa), 17 - 21 Maggio 1999. Presentando il lavoro: "Study of the cosmic ray primary spectrum at  $10^{15} < E_0 < 10^{16}$  eV with the EAS-TOP array".
- XXVI ICRC, Salt Lake City, 17 - 25 Agosto 1999. Presentando il lavoro "Study of the knee structure in the EAS electron and muon components".
- LXXXV Congresso Nazionale della SIF, Pavia 20 - 24 Settembre 1999. Presentando il lavoro: "Studio dei raggi cosmici primari nella regione del ginocchio con EAS-TOP".
- IX Convegno del Gruppo Italiano di Fisica Cosmica, Lecce 24 - 26 Maggio 2000. Presentando il lavoro: "Cosmic ray physics around the knee of the primary spectrum".
- LXXXV Congresso Nazionale della SIF, Palermo 6 - 11 Ottobre 2000. Presentando il lavoro: "Studio della regione del ginocchio dello spettro primario dei raggi cosmici con EAS-TOP".
- XXVII ICRC, Amburgo 7 - 15 Agosto 2001.
- 18th European Cosmic ray Symposium, Mosca 8 - 12 Luglio 2002. Presentando il lavoro: "The KASCADE - Grande cosmic ray detector in the energy range  $10^{16} - 10^{18}$  eV".
- XXVIII ICRC, Tsukuba (Giappone), 31 Luglio - 8 Agosto 2003. Presentando il lavoro: "KASCADE-Grande: the Grande array"
- Frontiers objects in astrophysics and particle physics, Vulcano (Me) 24-29 Maggio 2004. Presentando il lavoro: "The KASCADE-Grande experiment".
- XXIX ICRC, Pune (India) 3 - 10 Agosto 2005. Presentando il lavoro: "Operation, calibration and accuracy of the Grande array of the KASCADE-Grande experiment"
- Incontri di Fisica della Alte Energie, Pavia 19-21 Aprile 2006. Presentando la relazione "I raggi cosmici di alta e ultra alta energia".
- Neutrino Oscillation Workshop, Otranto (Le) 9-16 Settembre 2006. Presentando la relazione "Status of Cosmic Rays Physics at the Knee".
- Il 15 Febbraio 2007 sono stato invitato presso la Sezione INFN di Bologna a tenere un seminario dal titolo: "Risultati recenti e prospettive nella fisica dei raggi cosmici alle energie del ginocchio".
- 21st European Cosmic Ray Symposium, Kosice (Slovacchia) 9-13 Settembre 2008. Dove presenterò la relazione: "The KASCADE-Grande experiment: an overview".

## Attività Didattica di Andrea Chiavassa

Durante l'anno accademico 1993/94 ho tenuto 20 ore di esercitazioni del corso "Laboratorio di Fisica" del corso di Laurea in Scienze Biologiche dell'Università di Torino.

Nell'anno accademico 1994/95 ho tenuto, durante il primo semestre, 40 ore di esercitazioni per il corso "Laboratorio di Fisica II" del corso di laurea in Chimica della II Facoltà di Scienze M.F.N. dell' Università di Torino con sede in Alessandria.

Nel Marzo 1995 mi è stata conferita una borsa di studio (art. 50 dello statuto dell'Università di Torino), per tenere 50 ore di esercitazioni per il corso "Esperimentazioni di Fisica IIB" del corso di laurea in Fisica.

Dall'anno accademico 1997/98 all'anno accademico 1999/2000 ho tenuto le esercitazioni del corso di "Fisica 2" del corso di Laurea in Fisica.

Nell'anno accademico 2000/01 il corso di Fisica 2 è stato diviso in due moduli: "Elettricità e Magnetismo" e "Elettromagnetismo e Ottica" ed ho tenuto le esercitazioni di entrambi i moduli.

Dall'anno accademico 2001/02 all'anno accademico "2005/06" ho tenuto le esercitazioni del modulo "Elettricità e Magnetismo" (Corso di Laurea in Fisica).

Dall'anno accademico 2001/02 all'anno accademico 2007/08 sono il titolare del corso di "Fisica A" del corso di laurea in Chimica dell' Università di Torino.

Dall'anno accademico 2003/04 all'anno accademico 2005/06 ho tenuto, in collaborazione con la Dott.ssa A. Castellina (INAF), il corso di "Tecniche di Analisi dati in Fisica Cosmica" della Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica Cosmica

Negli anni accademici 2005/06 e 2006/07 ho tenuto, in cotitolarità con la Prof.ssa S. Marcello, il corso di "Laboratorio V" del corso di Laurea in Fisica.

Dall'anno accademico 2007/08 sono il titolare del corso di "Elettricità e Magnetismo" del corso di Laurea in Fisica.

Negli anni accademici 2006/07 e 2007/08 ho svolto delle lezioni su "Fisica dei Raggi Cosmici" al Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università degli Studi di Torino.

Sono stato relatore di sei tesi di Laurea Triennale in Fisica e di una tesi di Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica Cosmica.

Sono stato invitato a formulare, come contro relatore esterno, un giudizio sulle seguenti tesi di dottorato di ricerca in Fisica:

- Università del Salento. "Time Measurements with the ARGO-YBJ detector", candidata A. K. Calabrese Melcarne, Relatore Prof. P. Bernardini.
- Università degli Studi di Roma Tor Vergata. "PAMELA mission: apparatus in flight performances and preliminary measurements of nuclear abundances", candidata L. Marcelli. Relatore Prof. P. Picozza.

Dal 2007 faccio parte del collegio dei docenti del dottorato di ricerca in Fisica dell'Università di Torino e dal 2008 del Consiglio della Scuola di Dottorato in Scienza e Alta Tecnologia dell'Università di Torino.

Ho collaborato con la Prof.ssa D. Marocchi, presidente del CCS in Fisica, alla gestione e alla organizzazione del progetto Lauree Scientifiche, un'iniziativa del MIUR per far conoscere agli studenti degli ultimi anni delle scuole superiori le proposte dei corsi di laurea in Chimica, Fisica, Matematica e Scienza dei Materiali. In questo ambito ho anche partecipato, ogni anno, ad uno stage di tre giorni per studenti del liceo in cui illustro la tecnica per la misura dei raggi cosmici con scintillatori plastici.

Torino, 21 Agosto 2008

Andrea Chiavassa

Il sottoscritto dichiara sotto la sua personale responsabilità che quanto su affermato corrisponde a verità e si obbliga a provarlo mediante presentazione a richiesta dell'Amministrazione.

Andrea Chiavassa