

## CURRICULUM VITAE DELLA DOTT. MARIA AGNESE CIOCCI

Nata a Marino (Roma) il 13 agosto 1959, frequenta il corso di laurea in Fisica dell'Università degli Studi di Roma dove segue il piano di studi in Fisica delle Particelle Elementari.

Si laurea a Roma nell'Ottobre 1986, con voti 110/110 discutendo la tesi: "Fotoproduzione del barione charmato  $\Lambda_c$  all'SPS del CERN". La tesi di laurea, svolta inizialmente presso i Laboratori Nazionali di Frascati ed in seguito presso il Dipartimento di Fisica di Trieste, ha come soggetto l'analisi dei dati dell'esperimento di fotoproduzione NA1.

Dopo la laurea, la candidata frequenta il corso di perfezionamento in Fisica presso l'Università di Pavia (anno accademico 86/87), ultimando l'analisi dei dati dell'esperimento NA1, sotto la guida del Prof. Luigi Rolandi.

Nel Luglio del 1987 entra a far parte della Collaborazione Aleph, svolgendo la sua attività di ricerca al CERN di Ginevra con il gruppo Aleph di Trieste.

A partire dal Luglio del 1988, come titolare di un contratto di ricercatrice del C.N.R.S, con sede di lavoro presso l'Ecole Polytechnique di Palaiseau (Parigi), continua la sua attività scientifica nella collaborazione ALEPH occupandosi dello studio della fisica al polo della  $Z^0$  e realizzando il programma di ricostruzione dei vertici secondari adottato dalla collaborazione.

Nel Febbraio 1990 vince una borsa di studio dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, classificandosi al primo posto nella graduatoria ufficiale e riportando il punteggio di 90/100. La candidata fruisce di tale borsa di studio dal 1 Marzo del 1990 al 28 Febbraio del 1992 presso la sezione I.N.F.N di Pisa.

Conclude così il suo rapporto di lavoro con il C.N.R.S e, a partire dal 1 Marzo 1990, inizia la sua collaborazione all'interno del gruppo ALEPH di Pisa occupandosi dell'utilizzo del minivertice a silici nella ricostruzione di tracce e vertici e della misura della vita media del leptone  $\tau$ .

Nell'anno accademico 1991-1992 svolge attività didattica presso l'Università di Pisa come esercitatrice di Fisica II per il Corso di Laurea in Scienze dell'Informazione.

A partire dal 2 Ottobre 1992 è dipendente a tempo determinato (per la durata di un anno) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, ai sensi dell'ex art.36 legge 70/75 presso l'unità organica di Pisa dove collabora alla determinazione della vita media del leptone  $\tau$  con il gruppo di Aleph.

Nel Novembre del 1994 supera l'esame di ammissione alla scuola di Specializzazione in Fisica Sanitaria dell'Università di Pisa; Nell'aprile del 1997 consegue il diploma di Specialista in FISICA SANITARIA con punti 50/50 e lode, discutendo la tesi di specializzazione dal titolo "Simulazione di rivelatori di GaAs per applicazioni nel campo della radiografia digitale".

La tesi di specializzazione, svolta presso la sezione I.N.F.N. di Pisa, sotto la direzione del professor Arnaldo Stefanini all'interno del gruppo MEDIM, ha come soggetto la modellizzazione delle proprietà di rivelazione di rivelatori di Arseniuro di Gallio (GaAs) a pixels, per fotoni di energie nel range diagnostico (10-20 KeV).

Dal febbraio del 1998 e per la durata di sei mesi, ha un contratto con l'Università di Pisa per realizzare la simulazione della risposta di varie configurazioni di rivelatori a pixel di GaAs a scansione per applicazioni nel campo della mammografia digitale (progetto MED46).

Da Aprile 1999 a Giugno 2001, ha un contratto di prestazione d'opera (art.2222) presso l'Università degli Studi di Siena. Il contratto, è relativo al progetto nazionale "Tecniche avanzate di imaging per applicazioni medicali, ambientali e dei beni culturali" (cofinanziato dal MURST) a cui partecipa un'unità di ricerca del Dipartimento di Fisica di Siena.

Dal settembre del 1999, fa parte attivamente della collaborazione CLUE che svolge attività di ricerca nel campo dello studio degli sciami atmosferici estesi, tramite la rivelazione di luce Cerenkov, con un esperimento installato presso l'osservatorio astronomico di Roque de los Muchacos - La Palma (Canarie).

Dal 1999 svolge attività didattica per la Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Siena, in qualità di docente a contratto delle seguenti discipline:

a.a. 1999-2000 1) Biofisica Medica, 2) Tecniche Fisiche per Diagnostica Medica, afferenti entrambe al Corso di Diploma Universitario per Ortottista – Assistente in Oftalmologia, 3) Fisica Medica, afferente al Corso di Diploma Universitario per Tecnico Sanitario di Laboratorio Biomedico.

a.a. 2000-2001 1) Biofisica Medica, 2) Tecniche Fisiche per Diagnostica Medica, afferenti entrambe al Corso di Diploma Universitario per Ortottista – Assistente in Oftalmologia, 3) Fisica Medica, afferente al Corso di Diploma Universitario per Tecnico Sanitario di Laboratorio Biomedico 3) Fisica Nucleare e Subnucleare, afferente al Corso di Diploma Universitario per Tecnico sanitario di radiologia medica.

aa. 2001-2002 1) Fisica Applicata per il Corso integrato di Fisiopatologia della Visione Binoculare, afferente al Corso di laurea Universitario per Ortottista – Assistente in Oftalmologia, 2) Fisica Applicata per il Corso Integrato di Chimica e Fisica Applicata Corso di Laurea Tecnico della prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro.

Il 13 Luglio del 2001 vince il concorso da ricercatore per il settore scientifico disciplinare B01B – Fisica, della Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali dell'Università degli Studi di Siena dove prende servizio il 1 settembre del 2001.

Nell'anno accademico 2001/2002 gli viene affidata dalla Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali la supplenza di Misure di elettricità e magnetismo (settore Fis01) per i Corsi di laurea 1) Fisica e Tecnologie Avanzate e 2) Scienze Ambientali

### Attività scientifica

La produzione scientifica della candidata, che svolge la sua attività di ricerca dal 1983, è stata caratterizzata da tre fasi principali.

Nella prima, la sua attività di ricerca ha avuto luogo principalmente nel campo della Fisica Sperimentale delle Alte energie con la partecipazione attiva all'esperimento NA1 presso l'SPS del CERN e in seguito all'esperimento ALEPH presso l'anello di accumulazione LEP del CERN.

Successivamente, l'attività scientifica della candidata si è indirizzata alle applicazioni, in campo medico e clinico, di alcune delle tecniche strumentali e dei metodi di simulazione e di analisi dei dati, mutuati dalla precedente esperienza. Dopo avere acquisito una formazione di base, conseguendo il Diploma di Specialista in Fisica Sanitaria, la sua attività di ricerca si è rivolta all'imaging medico nel campo della radiografia digitale. In quest'ambito, si è dedicata allo studio di una tecnica innovativa di

reiezione della radiazione diffusa Compton che costituisce uno dei principali fattori che impediscono la visualizzazione di particolari a basso contrasto con le attuali tecniche radiografiche.

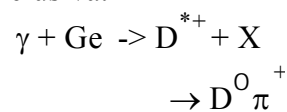
La candidata fa attualmente parte della collaborazione CLUE che svolge attività di ricerca nel campo dello studio degli sciami atmosferici estesi, tramite la rivelazione di luce Cerenkov, con un esperimento installato presso l'osservatorio astronomico di Roque de los Muchacos - La Palma (Canarie). La candidata, che è attualmente associata all'I.N.F.N, si è occupata dell'analisi dei dati raccolti dall'esperimento ed in particolare ha sviluppato una tecnica originale di ricostruzione della direzione degli sciami atmosferici che ha consentito di migliorare la rivelazione di sorgenti AGN e che, con una sufficiente statistica, potrebbe consentire di misurare l'ombra della Luna, dovuta alla deflessione dei protoni primari nel campo magnetico terrestre nonché di porre un limite sulla misura del rapporto materia antimateria.

#### Sperimentazione presso il sincrotrone SPS del CERN

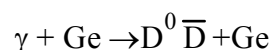
Nell'Ottobre del 1983, la candidata ha iniziato, come laureanda, la sua collaborazione con il gruppo di Frascati impegnato nell'esperimento NA1 all'SPS del CERN.

Scopo dell'esperimento era lo studio della fotoproduzione diffrattiva coerente dei mesoni charmati  $D^+$ ,  $D^0$  e  $D_s$  su un bersaglio attivo a stato solido ( germanio ) e la misura della loro vita media.

In un primo tempo la candidata si è dedicata alla misura della vita media dei mesoni  $D^0$  [Ref.1,2], prodotti nella reazione inclusiva:



e alla identificazione di coppie  $D^0 \bar{D}$  nella reazione esclusiva:



L'analisi di questi due processi ha permesso di selezionare un campione di 58 decadimenti di mesoni  $D^0$ , con i quali si è ottenuto il seguente valore della vita media del  $D^0$  [ Ref. 1,2]

:

$$\tau_{D_0} = (3.4_{-0.5}^{+0.6} \pm 0.3) \times 10^{-13} \text{ s}$$

Nel corso di questa analisi la candidata ha messo in luce l'ulteriore possibilità di osservare eventi con fotoproduzione di  $\Lambda_c$  e questa linea di ricerca ha finito per costituire l'argomento principale della tesi di laurea. Tale convinzione derivava dalle seguenti osservazioni:

i) In fotoproduzione diffrattiva coerente una caratteristica peculiare degli eventi con  $\Lambda_c$  è la

presenza in molti casi di una  $\Lambda$  associata:

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda^- D_s^- N$$

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda^- K^- \bar{D}_0 N$$

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda K^0 D^- N$$

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Sigma^0 D_s^- N$$

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Sigma^0 K^- \bar{D}_0 N$$

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Sigma^0 K^0 D^- N$$

$$\gamma N \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda_c^- N$$

Per questi processi la percentuale di eventi con almeno una  $\Lambda$  nello stato finale va dal 100% per i primi sei al 60% per l'ultimo, essendo:

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma \quad \text{B.R. 100\%}$$

$$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda X \quad \text{B.R. 33\%}$$

Questa caratteristica apriva una prospettiva interessante per uno studio dei decadimenti esclusivi della  $\Lambda_c$  che, all'epoca, era stata studiata principalmente in modo inclusivo.

ii) La presenza di un segnale di  $\Lambda$  nello spettro di massa invariante  $p\pi^-$ , nell'intervallo di massa 1.105-1.125 GeV, osservata dalla candidata negli eventi di NA1 con alta molteplicità carica, escludeva a priori una banale produzione associata di  $\Lambda$  anti- $\Lambda$  e costituiva la premessa per la ricerca di  $\Lambda_c$ .

L'apparato sperimentale di NA1 utilizzava un fascio di fotoni di energia tra i 70-220 GeV ed era costituito da un bersaglio attivo e da uno spettrometro in avanti per particelle cariche e neutre e due contatori Cerenkov a soglia che consentivano la discriminazione  $\pi$ -K nel range di momento 17-43 GeV/c.

Il bersaglio attivo era costituito da un rivelatore monoblocco al germanio di dimensioni  $5 \times 5 \times 20 \text{ mm}^3$  sulla cui faccia superiore erano distribuiti 48 elettrodi ( ortogonalmente alla direzione del fascio) con una granularità di  $100 \mu\text{m}$ . Esso era seguito da un telescopio di 15 rivelatori al silicio di  $200 \mu\text{m}$  di spessore. Le altezze d'impulso misurate da ogni elettrodo di germanio o rivelatore di silicio consentivano di determinare il numero di particelle cariche presenti in ogni segmento del bersaglio e l'osservazione di brusche variazioni nella molteplicità di carica permetteva una precisa localizzazione del punto di produzione e decadimento di particelle di vita media dell'ordine di  $10^{-13} \text{ s}$  ( il  $\gamma$  medio di dilatazione dei tempi per la coppia di particelle charmate prodotte era  $\sim 30$  ). Inoltre l'efficienza per la rivelazione di una vita media maggiore di  $0.02 \text{ ps}$  era maggiore dell'85%.

La ricerca di un segnale di  $\Lambda_c$  in fotoproduzione è stata preceduta da una preselezione di eventi ad alta molteplicità carica con  $\Lambda$ . Questa ha consentito di studiare le capacità dello spettrometro e soprattutto quelle dei Cerenkov nell'identificazione dei protoni, i quali sono sempre presenti nel decadimento della  $\Lambda_c$ . A tale scopo la candidata ha effettuato uno studio della cinematica di decadimento della  $\Lambda$  nel canale  $p \pi^-$  che le ha consentito di stabilire che il parametro d'impatto medio del  $\pi$  originato dal decadimento era dell'ordine dei 3 cm. Inoltre il rapporto tra il parametro d'impatto del  $\pi$  e del protone risultava compreso tra 3 e 15: un valore elevato, compatibile solo con alcuni tipi di decadimento [ad es.  $\Xi^0$  e  $\Xi^-$ ].

La distribuzione del parametro d'impatto delle tracce cariche forniva inoltre un valore medio di  $(0. \pm 1.) \text{ cm}$ . Dallo studio dello spettro di massa invariante  $p \pi^-$ , richiedendo l'identificazione del protone nei Cerenkov (intervallo di 17-43 GeV/c) ed una traccia candidabile pione ( in base all'informazione dei calorimetri e dei Cerenkov) e con parametro d'impatto maggiore di 2.5 cm, la candidata ha ottenuto un segnale nell'intervallo di massa  $1.105 \div 1.125 \text{ GeV}$  costituito da 31 eventi con un fondo di 10.

Il numero di eventi con  $\Lambda$  trovato era troppo esiguo per cercare la  $\Lambda_c \rightarrow \Lambda + X$ .

Al fine di ridurre il piu' possibile il fondo combinatorio, la candidata decise di richiedere la presenza di una  $\Lambda$  nell'evento ( definita come una traccia ad alto parametro d'impatto ) e di cercare un segnale di  $\Lambda_c$  nel canale  $p K^- \pi^+ ( \pi^0 )$ .

Un chiaro segnale di  $\Lambda_c$  e' stato osservato nello spettro di massa invariante del canale di decadimento con il  $\pi^0$ , in quasi totale assenza di fondo ( stimato dallo spettro di massa invariante del canale Cabibbo-soppresso  $p K^+ \pi^- \pi^0$  ) [ Ref.3].

Questo risultato ha segnato l'inizio di una ricerca piu' approfondita del segnale di  $\Lambda_c$  e la fine della tesi.

- La candidata ha continuato a Trieste lo studio sulla  $\Lambda_c$  dove, da un esame accurato degli eventi, si è resa conto che in molti casi la massa invariante del sistema  $K \pi$  è compatibile con quella di un  $K^*$  e quella del sistema  $p \pi$  è compatibile con quella di una  $\Delta$ . Rilasciando la richiesta di una traccia ad alto parametro d'impatto e richiedendo la presenza fra i prodotti di decadimento di un  $K^*$  o di una  $\Delta$ , è riuscita ad isolare un chiaro segnale di  $\Lambda_c$ . Inoltre, rilasciando la richiesta di un protone identificato e di una traccia ad alto parametro d'impatto e richiedendo sia la presenza di una  $\Delta$  che di un  $K^*$ , ha ottenuto un segnale di  $\Lambda_c$ .

In base ai diversi tipi di selezione, la candidata ha selezionato 31  $\Lambda_c^+$  e 23  $\Lambda_c^-$  su un fondo rispettivamente di 6 e 4 eventi. Il numero equivalente di  $\Lambda_c^+ \Lambda_c^-$  era in accordo con le ipotesi di fotoproduzione diffrattiva. I risultati di questa analisi sono stati pubblicati nella [Ref.3].

Per la prima volta e nel corso di tale lavoro è stato osservato il decadimento  $\Lambda_c \rightarrow p K^- \pi^+ \pi^0$  con un picco nell'intervallo di massa invariante 2.250÷2.290 GeV. Questo decadimento si può presentare in due stati finali diversi,

$$\Delta^{++} K^{*-}, \Delta^{+} K_C^{*-}$$

ed il confronto tra i rapporti di decadimento dei due canali ha permesso di trarre informazioni sull'importanza relativa dei diagrammi che contribuiscono al decadimento.

Su un totale di 54 eventi, 9 avevano nel bersaglio un salto di molteplicità di 2 (produzione) seguito da un altro salto di molteplicità di 2 (decadimento di una delle  $\Lambda_c$ ). Questi 9 eventi sono stati utilizzati per la misura della vita media della  $\Lambda_c$  [Ref.3], ottenendo:

$$\tau_{\Lambda_c} = (1.1_{-0.4}^{+0.8}) \times 10^{-13} \text{ s}$$

### Sperimentazione presso l'anello di accumulazione LEP

Nell'ottobre dell'87 la candidata è entrata a fare parte del gruppo di Trieste nell'ambito della collaborazione Aleph.

Il principale scopo di questo esperimento [Ref.4], uno dei quattro apparati sperimentali situati all'anello di accumulazione  $e^+ e^-$  Lep del CERN di Ginevra, era lo studio della fisica  $e^+ e^-$  nell'intervallo di energie nel centro di massa tra i 90 e i 200 GeV. La prima fase del programma, in cui sono state esplorate energie nel centro di massa attorno al picco della  $Z^0$ , ha permesso di confrontare con la teoria i parametri legati al Modello Standard delle interazioni deboli [ Ref.5 ], studiando la fisica dei decadimenti della  $Z^0$ . L'elevata

energia nel centro di massa ha permesso di accedere ad intervalli inesplorati per la ricerca di particelle previste dal Modello Standard e non ancora rivelate (bosone di Higgs e nuove famiglie di fermioni), nonché di altri tipi di particelle previsti da estensioni del modello, o in generale per la ricerca di "nuova fisica" [Ref.6]. L'elevato tasso di decadimento della  $Z^0$  in adroni ha inoltre offerto la possibilità di effettuare studi di fisica adronica [ Ref.7] e di verificare i modelli di QCD che descrivono la frammentazione dei quark [Ref.8] e misurare  $\alpha_s$  [Ref.9].

Nell'ambito di Aleph, la candidata ha contribuito allo studio della risoluzione spaziale della camera a proiezione temporale (TPC) [Ref.10]. In tale rivelatore, la misura della coordinata  $r-\phi$  si basa sulla misura del segnale indotto sulle pads. Questo segnale è generato dagli elettroni che vengono raccolti dai fili proporzionali e la risoluzione spaziale è limitata da vari fattori, quali il rumore elettronico, le fluttuazioni delle dimensioni della valanga, la diffusione nel gas e dall' effetto  $E^B$  sul filo [Ref.11]. È stato provato che l'insieme di tutti questi effetti porta ad una risoluzione spaziale in  $r-\phi$  dell'ordine dei 150  $\mu\text{m}$  [ Ref.11].

La candidata ha inoltre sviluppato gli algoritmi che consentono la ricostruzione dei vertici secondari (  $K^0$ ,  $\Lambda$  e conversioni di  $\gamma$  ) [ Ref.12]. Tali algoritmi sono stati studiati con eventi adronici, prodotti con una simulazione completa dell'apparato sperimentale. I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati sperimentali ( circa  $10^6$  eventi in cui la  $Z$  decade adronicamente ) con i quali l'accordo è eccellente.

L'identificazione di vertici secondari consente di ridurre l'errore sulla determinazione del vertice primario dell'evento ed è di grande aiuto nella misura di vite medie.

In particolare la ricostruzione di  $K^0$  e  $\Lambda$  è di notevole utilità per la selezione di eventi con charm e beauty, mentre l'identificazione di elettroni provenienti da conversioni di fotoni consente di ridurre il fondo nello studio di leptoni ad alto parametro d'impatto provenienti dal decadimento di quark pesanti.

Il programma di selezione dei vertici secondari è stato utilizzato, all'interno della collaborazione, per la determinazione della vita media del B, per il tagging di Higgs leggeri, per la determinazione della posizione del vertice primario nelle collisioni  $e^+e^-$ , per lo studio della misidentificazione nel calorimetro adronico dei pioni provenienti dai decadimenti dei  $K^0$ , per lo studio della distribuzione del materiale nell'apparato sperimentale (utilizzando le conversioni dei fotoni), per lo studio della produzione di  $K^0$  e  $\Lambda$  nei decadimenti adronici della  $Z^0$  [ Ref.13] e del tau [Ref.14].

Esso è stato inoltre utilizzato per lo studio delle correlazioni  $\Lambda^- - \Lambda^+$  [ Ref.15 ]. Lo studio di tali correlazioni ha consentito di dimostrare che la  $Z^0$  decade in barioni con

beauty e tramite la prima evidenza sperimentale del loro decadimento semileptonico di fornire la prima misura del prodotto dei tassi di decadimento:

$$\text{Br} ( b \rightarrow \Lambda_b ) \text{Br} ( \Lambda_b \rightarrow \Lambda_c^+ l \nu_l ) \text{Br} ( \Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda X ) = ( 0.95 \pm 0.22 ( \text{stat} ) \pm 0.21( \text{sys} ) ) \%$$

• Dal luglio 1988, la candidata, in qualità di ricercatrice dell' Ecole Polytechnique, si è dedicata, nell'ambito di un gruppo di analisi di Aleph, allo studio del processo :

$$e^+ e^- \rightarrow Z^0 \rightarrow \tau^+ \tau^- ( \gamma ),$$

Tale gruppo ha affrontato, in particolare, i seguenti argomenti di fisica del  $\tau$  : la misura di  $\sin^2\theta_w$  e della polarizzazione del  $\tau$  [Ref.16] ; il rapporto di diramazione di  $Z^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$  [Ref.17] ; la misura dei rapporti di diramazione del  $\tau$  [ Ref.18 ] ; la misura della vita media del  $\tau$  [ Ref.19 ].

La candidata ha collaborato alla stesura del programma che seleziona gli eventi  $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$  [Ref.20] e, come suo specifico compito, alla misura della vita media del leptone  $\tau$ .

Quest'ultima costituisce un test diretto del Modello Standard, infatti la relazione che lega la vita media del  $\tau$  con quella del  $\mu$  con le rispettive masse e con il rapporto di decadimento del  $\tau$  in elettrone puo` essere utilizzata per verificare l'uguaglianza delle costanti di accoppiamento del  $\tau$  e del  $\mu$  con il W. Inserendo nell'espressione :

$$\left( \frac{g_\tau}{g_\mu} \right)^2 = \text{B} ( \tau \rightarrow e \nu \bar{\nu} ) \frac{\tau_\mu \left( \frac{m_\mu}{m_\tau} \right)^5}{\tau_\tau}$$

i valori sperimentali della massa del  $\tau$  , della sua vita media e del rapporto di decadimento in elettroni riportati nella versione della Review of particle properties del 1992[ Ref.21 ], cioè`

$$m_\tau = 1784.1_{-3.6}^{+2.7} \quad \tau_\tau = ( 305 \pm 6 ) \text{ fs} \quad \text{Br} ( \tau \rightarrow e \nu_e \nu_\tau ) = ( 17.93 \pm 0.26 ) \%$$

e combinando questi dati con i valori della massa del  $\mu$  e della sua vita media ( conosciuti con una precisione tale da non influire sull'errore finale ) si ha:  $g_\tau / g_\mu = 0.970 \pm 0.012$ , che differisce dall'unita` circa due deviazioni standard. L'errore e` dovuto in primo luogo all'errore sulla vita media (  $\pm 0.009$  ), a quello sul rapporto di decadimento in elettroni (  $\pm 0.007$  ) ed infine all'errore sulla massa (  $\pm 0.004$  ). In base a questi dati si dovrebbe concludere che l'ipotesi dell'universalita` non e` verificata, ovvero che la larghezza di decadimento del  $\tau$  venga ridotta ad opera di processi fisici sconosciuti.

Dai dati del 1992 emergeva quindi la necessita` di effettuare una misura di maggiore precisione della vita media del  $\tau$ , della sua massa e del rapporto di diramazione in elettroni per ottenere, per questa via, la conferma ( o meno ) dell'universalita` dei leptoni.

Per misurare la vita media, la candidata ha utilizzato due tecniche. La prima fa uso della ricostruzione completa del vertice di decadimento del  $\tau$ , la seconda impiegata soltanto negli eventi in cui entrambi i tau sono decaduti in una particella carica, utilizza la somma dei parametri d'impatto. Sebbene il metodo della lunghezza di decadimento sia intrinsecamente piu' preciso, esso e' penalizzato da una minore statistica ( il rapporto di diramazione del  $\tau$  in tre o piu' tracce cariche e' circa del 14% ) ed e' affetto da errori sistematici : ad esempio, nel decadimento in tre tracce cariche la separazione angolare media tra due tracce e' di circa  $1^\circ$ , per cui l'associazione delle coordinate a ciascuna traccia puo' essere erroneamente attribuita ai rivelatori piu' interni.

Il metodo della lunghezza di decadimento utilizza la ricostruzione del vertice di decadimento del  $\tau$  in tre tracce cariche ed assume che il punto di produzione del  $\tau$  e' il centro della regione di beam-crossing. La lunghezza di decadimento media e' misurata utilizzando un fit di maximum likelihood per la distribuzione sperimentale delle lunghezze di decadimento.

Il metodo della somma dei parametri d'impatto assume che entrambi i tau sono prodotti "back to back" ed ha per scopo la misura della distanza tra le due tracce nel punto di minima distanza dal punto di collisione dei fasci. Questa quantita' consente di sfruttare appieno le capacita' del rivelatore di vertice [Ref. 22]

- La candidata ha sviluppato gli algoritmi necessari per le due tecniche. Per la misura della lunghezza di decadimento, ha sviluppato un algoritmo di utilita' generale, capace di ricostruire un vertice comune ad un insieme qualunque di tracce cariche variandone i parametri. Esso costituisce un'estensione ad  $N > 2$  tracce del metodo utilizzato per la ricostruzione di vertici secondari, descritto in precedenza [Ref.12]. Senza l'utilizzo del minivertice nella tracciatura, la risoluzione spaziale nella direzione di volo del  $\tau$  ( definita come la distanza tra il vertice ricostruito e quello vero di decadimento del  $\tau$  in tre tracce cariche, proiettata lungo la direzione di volo del  $\tau$  ) risulta essere di circa 3 mm, mentre nella direzione perpendicolare a quella di volo la risoluzione e' di circa 120  $\mu\text{m}$ . Utilizzando il minivertice queste risoluzioni si riducono rispettivamente a 620  $\mu\text{m}$  e 27  $\mu\text{m}$  circa.

- L'attivita' svolta dalla candidata nell'ambito del gruppo Aleph di Pisa si articola secondo due linee di ricerca: l'analisi della vita media del  $\tau$  ( alla quale si e' associata parte del gruppo di Pisa dall'Ottobre del 1990 ) e l'utilizzo del minivertice a silici nella ricostruzione di tracce e vertici.

Il minivertice di Aleph [Ref.22], realizzato con rivelatori di silicio con lettura a doppia faccia, diviene operativo dal 1991. Questo rivelatore consente una risoluzione puntuale di 10-20  $\mu\text{m}$  rendendo cosi' possibile l'identificazione di vertici secondari dovuti a

decadimenti di particelle contenenti quark pesanti , come pure la ricostruzione del vertice di decadimento del leptone  $\tau$ .

La candidata ha collaborato allo studio della risoluzione di tale apparato nella ricostruzione del parametro d'impatto e del vertice primario delle collisioni  $e^+$  e  $e^-$ .

Utilizzando i dati raccolti dall'esperimento Aleph nel 1992 (corrispondenti ad una statistica di circa 25700 coppie di tau ) la misura della vita media del  $\tau$  , ha fornito [Ref.23] :

$$\tau_{\tau}=(291.9 \pm 5.8 \text{ (stat)} \pm 2.4 \text{ (syst)}) \text{ fs}$$

utilizzando il metodo della lunghezza di decadimento, e

$$\tau_{\tau}=(297.4 \pm 3.8 \text{ (stat)} \pm 3.4 \text{ (syst)}) \text{ fs}$$

utilizzando il metodo della somma dei parametri d'impatto .

Combinando i risultati ottenuti da analisi alternative di Aleph [Ref. 23], ed includendo i risultati del periodo di presa dati 1989-1991 [ Ref.24 ] si e' infine ottenuto :

$$\tau_{\tau}=(293.7 \pm 2.7 \text{ (stat)} \pm 1.6 \text{ (syst)}) \text{ fs}$$

Utilizzando la misura della vita media del  $\tau$  e i rapporti di decadimento del  $\tau$  in  $\mu$  e del  $\tau$  in elettrone determinati da Aleph [Ref.25] e la misura della massa del  $\tau$  [Ref.26] sono stati misurati i rapporti tra le costanti di accoppiamento  $g_{\tau} / g_{\mu}$  e  $g_{\tau} / g_e$  fornendo[Ref.23]:

$$\frac{g_{\tau}}{g_e} = 0.9946 \pm 0.0035 (B_{\mu}) \pm 0.0053 (\tau_{\tau}) \pm 0.0004 (m_{\tau})$$

Il presente risultato e' in accordo con l'universalita'  $\mu$ - $\tau$ .

### Attivita' di ricerca in fisica medica

Dal Febbraio del 1995, la candidata collabora con il gruppo MEDIM di Pisa.

Una delle linee di ricerca del gruppo dell'esperimento (linea pixel) si propone di realizzare un sistema di imaging digitale per la mammografia mediante l'impiego di rivelatori a pixel di arseniuro di gallio.

L'alto numero atomico del GaAs, si traduce (per fotoni nel range di energie della mammografia) in una piu' alta efficienza di rivelazione rispetto ai sistemi tradizionali quando il rivelatore abbia uno spessore adeguato ( $\geq 200 \mu\text{m}$ ). I vantaggi sostanziali che possono derivare da questo nuovo sistema di rivelazione rispetto alle tecniche convenzionali consistono o nella diminuzione della dose al paziente, oppure, a parita' di dose nella diminuzione del contrasto minimo rivelabile, che su strutture di diametro

dell'ordine del millimetro può scendere sotto il 2% (limite attualmente irraggiungibile). Per ottenere un tale risultato è necessaria un'alta efficienza di rivelazione e nel contempo un'efficiente raccolta della carica (c.c.e.) prodotta dal passaggio della radiazione.

- La candidata si è occupata della simulazione di rivelatori di GaAs cresciuti con la tecnica LEC. La simulazione ha consentito di dimostrare che i livelli intermedi (trappole) creati da impurezze di tipo donore, inevitabilmente presenti nel tipo di materiale considerato (l'unico che consente la realizzazione di spessori adeguati alla radiografia digitale) influenzano la distribuzione spaziale del campo elettrico riducendo la zona attiva del rivelatore e, quando il rivelatore è irraggiato, essi possono catturare i portatori di carica generati, riducendo in questo modo l'efficienza di raccolta di carica (c.c.e.) [Ref.27]
- La simulazione dei rivelatori di GaAs ha costituito il soggetto della tesi di specializzazione in Fisica Sanitaria [Ref.28]. I risultati ottenuti nella tesi di specializzazione sono stati pubblicati [Ref.29].

Utilizzando l'equazione di Poisson e l'equazione di continuità la candidata ha calcolato numericamente il potenziale elettrico in vari rivelatori (di diversi spessori e a varie tensioni di polarizzazione) in termini della concentrazione di trappole ionizzate e della variazione spaziale del livello di quasi-Fermi. Dalla conoscenza del potenziale elettrico ha ottenuto numericamente la distribuzione campo elettrico all'interno dei vari rivelatori [Ref.28 e 29], come pure i cammini liberi medi dei portatori di carica. La simulazione del campo elettrico ha consentito di riprodurre alcune proprietà sperimentali peculiari di questi rivelatori: rivelatori spessi (350  $\mu\text{m}$ ) hanno una bassa c.c.e. e rivelatori sottili (80  $\mu\text{m}$ ) hanno un'elevata c.c.e..

- Parte dei risultati ottenuti nella tesi sono stati inoltre presentati alla conferenza "2<sup>th</sup> International Conference On Large Scale Application and Radiation Hardness of Semiconductor Detectors", tenutasi dal 28 al 30 Giugno 1995 a Firenze. Gli atti della conferenza sono stati pubblicati. Il contributo della candidata a questa conferenza è descritto nella referenza [27].

La via sperimentale indicata dalla simulazione per la realizzazione degli obiettivi che l'esperimento Medim si propone, consiste nell'aumentare il campo elettrico all'interno del rivelatore. L'industria Alenia S.P.A. ha realizzato rivelatori di vario spessore muniti di un nuovo tipo di contatto Ohmico che consente di alterare la distribuzione del campo elettrico permettendo l'applicazione di tensioni di polarizzazione molto più elevate. La collaborazione MEDIM ha misurato per uno di questi nuovi rivelatori spesso 200  $\mu\text{m}$  una

c.c.e. del 90% che è sufficiente per la realizzazione degli obiettivi dell'esperimento [Ref.30].

Questo rivelatore, un cristallo di GaAs Semi-Isolante (SI) cresciuto con tecnica LEC ed equipaggiato del nuovo contatto Ohmico sviluppato dall'Alenia, è costituito da una matrice di 36 pixel quadrati di area  $200 \times 200 \mu\text{m}^2$  con  $20 \mu\text{m}$  di spaziatura tra pixel adiacenti. Esso è stato utilizzato dalla collaborazione MEDIM per valutarne sperimentalmente le prestazioni di imaging nelle condizioni standard di un esame mammografico [Ref.31].

Con questo nuovo sistema sono stati rivelati particolari di diametro 6 mm con contrasti sotto il 2% (inaccessibili ai sistemi tradizionali).

Per l'esperimento MEDIM è stato sviluppato un chip VLSI contenente  $64 \times 64$  celle di lettura di  $170 \times 170 \mu\text{m}^2$ , ciascuna delle quali viene collegata mediante la tecnica del bump-bonding ai pixel (di stessa dimensione delle celle di lettura) di un rivelatore di GaAs di tipo SI: l'area del rivelatore è di circa  $1.1 \times 1.1 \text{ cm}^2$ . La difficoltà principale di un sistema di questo tipo è quella di coprire aree di rivelazione significative per applicazioni mammografiche. Il formato tipico di una lastra per mammografia è  $18 \times 24 \text{ cm}^2$ . Attualmente è praticamente impossibile realizzare un dispositivo composto da un'unico cristallo di GaAs di queste dimensioni (disomogeneità del bulk, elevati costi di produzione). Inoltre, accoppiare diversi chip di lettura ad un rivelatore di elevate dimensioni introduce inevitabilmente delle zone morte di dimensioni non trascurabili (ad esempio gli spazi necessari per prelevare i segnali in uscita da ciascun chip).

La candidata ha contribuito in modo originale alla soluzione di tale problema: ha proposto l'utilizzo di un mosaico di rivelatori disposti in varie configurazioni geometriche [Ref.32]. In questo modo, l'intero campo di esposizione viene coperto mediante scansione. Per ottimizzare la geometria del rivelatore è stata effettuata un'accurata simulazione Monte Carlo [Ref.32] di un esame mammografico.

I risultati ottenuti dalla simulazione con un rivelatore a mosaico con diverse configurazioni hanno consentito non solo di determinare la configurazione migliore del mosaico di rivelatori, ma anche di asserire che il rumore presente nelle immagini acquisite dovuto alla radiazione diffusa può essere reso praticamente trascurabile rispetto a quello che si avrebbe utilizzando un rivelatore di area ( $18 \times 24 \text{ cm}^2$ ) dello stesso rivelatore, rendendo visualizzabili gli stessi particolari con una dose ancora più bassa di quella attuale permessa per questo tipo di rivelatore.

- Attualmente la candidata partecipa, in collaborazione con l'unita' di Ricerca dell'Universita' di Siena, al progetto di interesse nazionale (cofinanziato dal MURST) "Tecniche avanzate di imaging per applicazioni medicali, ambientali e dei beni culturali". Questo progetto prevede, tra l'altro, la realizzazione di prototipo di sistema di imaging per mammografia che utilizza un mosaico di rivelatori a CCD con elettronica a basso rumore.

Scopo principale della ricerca effettuata dalla U.R. di Siena e' lo studio sperimentale della soppressione della radiazione diffusa nell'imaging digitale. L'approccio sperimentale e' basato su una matrice di rivelatori disposti in una particolare geometria detta "a scacchiera" in modo da massimizzare la soppressione della radiazione diffusa.

Una coppia di collimatori posizionati rispettivamente a monte e a valle del paziente sono accoppiati meccanicamente e vengono spostati in modo da coprire tutta l'area richiesta in quattro esposizioni successive. E' previsto l'uso di CCD di piccole dimensioni (1 x 1 cm<sup>2</sup>) con pixel piccoli (20 μm) e accoppiati in fibra ottica ad un convertitore di raggi X costituito da uno scintillatore di CsI(Tl) di elevata risoluzione spaziale.

Lo studio sperimentale e la messa a punto della tecnica di reiezione del fondo presente nell'immagine radiografica e dovuto alla radiazione diffusa costituisce l'obiettivo principale di una serie di misure che saranno eseguite con un prototipo.

L'esperienza accumulata durante queste misure contribuirà alla ottimizzazione del sistema finale in termini di soppressione del fondo nell'immagine, elevata risoluzione spaziale e minimo contrasto rivelabile con una dose al paziente minore rispetto ai sistemi tradizionali. Nel corso del periodo coperto dal contratto, la candidata ha realizzato una simulazione MonteCarlo dell'apparato sperimentale (sistema radiografico digitale a multi-esposizione basato su rivelatori CCD accoppiati in fibra ottica e dotato di un sistema innovativo anti-scattering ) per ottimizzarne la geometria in modo da ottenere la massima reiezione della radiazione diffusa Compton, minimizzando al tempo stesso la presenza di artefatti nell'immagine radiografica.

Il programma, basato sul package EGS4 di simulazione delle interazioni e.m. di elettroni e fotoni nella materia, e' in grado di simulare l'interazione di un fascio di raggi X per uso mammografico ( di cui riproduce lo spettro energetico e la divergenza angolare ) con un bersaglio di Lucite spessa 4 cm, posta a distanza di 64 cm dal fuoco e la cui superficie viene illuminata entro un raggio di 10 cm dall'asse del fascio. I fotoni Compton vengono tracciati nell'apparato e, sulla superficie del rivelatore CCD, vengono misurati:

il rapporto S/P (Secondari su Primari); un parametro  $\Delta C_{MAX}$  che fornisce una misura della disuniformita' della distribuzione spaziale della radiazione Compton residua all'interno dell'accettanza del rivelatore. Questo parametro e' espresso in termini di variazione

apparente di contrasto nell'immagine ed è usato per valutare quantitativamente gli artefatti creati nell'immagine nel caso di una distribuzione non uniforme.

I parametri geometrici che sono stati fatti variare nella simulazione sono le dimensioni del rivelatore CCD (quadrato di lato  $L$ ) e la distanza  $D$  fra la griglia anti-scatter e il rivelatore.

Generando, per ogni coppia di parametri, un numero di eventi molto grande (dell'ordine di  $5 \times 10^8$ ) su tutta l'area illuminata, la candidata ha ricavato l'andamento di  $S/P$  e di  $\Delta C_{MAX}$  in funzione di  $L$ , ottenendo una famiglia di curve ciascuna delle quali è caratterizzata da un unico valore di  $D$ .

Sono stati simulati rivelatori con  $L \approx 1.2$  cm (l'attuale CCD con taper 1:1) e inoltre rivelatori più grandi, con  $L = 1.5 ; 2.0 ; 2.5 ; 3.0$  cm, che potrebbero essere realizzati con l'impiego di un taper a fibre ottiche in grado di ingrandire l'area efficace di raccolta dei fotoni. Inoltre, la distanza  $D$  è stata fatta variare fra 2 e 12 cm.

Il risultato della simulazione relativa alle dimensioni dell'attuale CCD (superficie  $\approx 1.2 \times 1.2$  cm<sup>2</sup>) fornisce, a una distanza  $D = 8$  cm, un valore di  $R \equiv S/P \approx 4\%$  che corrisponde ad una riduzione di contrasto dovuto al Compton residuo nell'immagine, di circa il 4% (Contrast Reduction Factor :  $F \equiv 1/(1+R) \approx 0.96$ ) mentre per  $D = 2$  cm tale valore risulta circa il doppio. Inoltre, come previsto, la distribuzione del Compton residuo sulla superficie del rivelatore risulta più uniforme allontanando il rivelatore dalla griglia anti-scatter. Infatti il parametro  $\Delta C_{MAX}$  passa da circa 1.5 % ad un valore inferiore allo 0.5% quando  $D$  viene aumentato da 2 a 8 cm. Il risultato indica che gli artefatti nell'immagine dovuti alla presenza della griglia anti-scatter possono essere resi completamente trascurabili, anche nel caso di immagini a basso contrasto, purché il rivelatore venga sufficientemente allontanato.

A distanze maggiori come  $D = 10$  (12) cm, il deterioramento della risoluzione spaziale causato dalle sfuocature geometriche (geometrical unsharpness) dovute ad una spot focale di 100  $\mu\text{m}$  è ancora largamente trascurabile. Il risultato della simulazione indica che a queste distanze l'utilizzazione di rivelatori di dimensioni maggiori  $L = 2$  (2.5) cm non introduce apprezzabili artefatti nell'immagine e la percentuale di Compton residuo non supera il 4%.

È da notare che nel caso in cui si utilizzi un rivelatore di area (tipo la lastra radiografica) e non il mosaico di rivelatori proposto, lo scattering degrada il contrasto in modo considerevole essendo  $R \equiv S/P \approx 70\%$  (Contrast Reduction Factor :  $F \equiv 1/(1+R) \approx 50\%$ ).

I risultati ottenuti dalla simulazione sono stati presentati dalla candidata alla conferenza "8<sup>th</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors" alla Biodola, Isola d'Elba nel Maggio del 2000 [Ref.33].

## Attività di ricerca nel campo di fisica delle astroparticelle

Dal settembre del 1999 la candidata partecipa all'esperimento CLUE (Cerenkov Light Ultraviolet Experiment).

Costituito da una matrice di 3x3 unità, ciascuna delle quali è composta da uno specchio (F1 con diametro 1,8 m), da un rivelatore di luce ultravioletta posizionato sul piano focale dello specchio (MWPC contenente la sostanza fotosensibile TMAE, con associato un piano segmentato di 24x24 pad) e dall'elettronica di rivelazione, l'esperimento CLUE misura le direzioni dei fotoni prodotti per effetto Cerenkov dalle particelle generate dalla interazione della radiazione primaria con l'atmosfera. L'apparato sperimentale è situato a 2200 m sul livello del mare a la Roque de los Muchachos, la Palma (Canarie). A differenza di tutti gli altri esperimenti che investigano sulla radiazione cosmica utilizzando rivelatori per fotoni nella banda del visibile, CLUE rivela i fotoni nella banda dell'UV.

Le principali misure che questo esperimento si propone di effettuare sono la determinazione del rapporto materia – antimateria (ombra della Luna) e la misura dei flussi  $\gamma$  dalle sorgenti Markarian 501, Crab e Markarian 421.

Nella misura dell' "ombra della Luna", quest'ultima agisce da schermo per i raggi cosmici, mentre il campo magnetico terrestre devia le particelle cariche. L'assorbimento della Luna determina un deficit nella direzione ricostruita dei raggi cosmici dipendente dalla loro carica ed energia.

L'utilizzo di un rivelatore "solar blind", come la camera MWPC, permette un grosso incremento del tempo utile per la presa dati e della sensibilità rispetto ai tradizionali esperimenti Cerenkov nel visibile. Per quest'ultimi, infatti, l'osservazione è limitata alle notti senza Luna e lontano da oggetti celesti molto luminosi. In particolare, con questo tipo di rivelatore è possibile puntare direttamente i telescopi in direzione della Luna.

Per le misure che l'esperimento si propone di effettuare, è necessario ricostruire la direzione del primario che ha originato lo sciame. A tale scopo, la candidata ha messo a punto un metodo di analisi originale, basato sulla ricostruzione dell'asse del "thrust" dell'evento e del "parametro d'impatto" (due tecniche ben note nel campo della Fisica delle Alte Energie presso gli anelli di accumulazione).

L'applicazione del metodo del "thrust" ai dati sperimentali, ha migliorato la risoluzione angolare della direzione ricostruita, consentendo di aumentare l'efficienza di identificazione di sorgenti [Ref.34,35]

Tali risultati sono stati presentati dalla candidata alla conferenza “XI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VERY HIGH ENERGY COSMIC RAY INTERACTION”, svoltasi a Campinas, Brasile, dal 17 al 21 Luglio del 2000 [Ref.35] e alla conferenza “CHACALTAYA MEETING ON COSMIC RAY PHYSICS”, svoltasi a La Paz, in Bolivia, dal 23 al 27 Luglio del 2000 [Ref.35].

L’ applicazione del metodo del “parametro d’impatto” fa sperare (come verificato per adesso con i soli dati della simulazione MonteCarlo) in un ulteriore miglioramento della risoluzione angolare e di conseguenza dei segnali osservati.

Attualmente, la candidata partecipa in prima persona all'analisi dei dati dell'esperimento per la determinazione del rapporto protoni-antiprotoni nello spettro dei raggi cosmici primari.

### Referenze con riferimento alla lista delle pubblicazioni ed all’elenco dei documenti di attività scientifica e rapporti della dott. Maria Agnese Ciocci

- [1] A1.
- [2] B1.
- [3] A2.
- [4] A18, A91.
- [5] A6, A8, A9, A16, A23, A26, A31, A33, A34, A35, A36, A44, A48, A61, A62, A66, A71, A74, A76, A77, A80, A83, A87, A90, A96, A101, A103, A106, A109, A122, A126, A132, A133, A144, A148, A155, A156, A158, A174, A176, A178.
- [6] A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17, A20, A21, A22, A24, A30, A32, A37, A40, A49, A60, A65, A67, A72, A73, A88, A93, A98, A123, A134, A138, A140, A173.
- [7] A19, A26, A27, A38, A43, A51, A53, A54, A55, A59, A64, A69, A70, A75, A78, A79, A80, A81, A82, A85, A86, A88, A89, A92, A94, A102, A104, A108, A111, A113, A114, A115, A119.
- [8] A7, A41, A50, A105, A111, A113, A120, A151, A180.
- [9] A28, A29, A46, A47, A63, A100, A110, A171, A183.
- [10] A3, A4, A5, A18, A91.
- [11] A3.
- [12] B2.
- [13] A86.
- [14] A85.
- [15] A43.
- [16] A35, A61, A101.

- [17] A6, A8, A23, A36, A44, A62, A76.
- [18] A42, A84, A85, A116, A118.
- [19] A45, A58, A117, A154, A164, B4, B5,
- [20] A8, A23, A36, A44, A62, A83.
- [21] K.Hikasa et al. ( Particle data group ) Phys. Rev. D 45 (1992)
- [22] A25, A99.
- [23] A117.
- [24] A45, A58, B4, B5, A117.
- [25] A116, A118.
- [26] Nading Qi ( BES collaboration ), Nucl. Phys. B ( Proc. Suppl. ) 40 (1995) 387.
- [27] A135.
- [28] A163.
- [29] A136.
- [30] A187, A188.
- [31] A184, A189, B7, B8.
- [32] B6.
- [33]A194
- [34]A195.
- [35]A196.